



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV GEODÉZIE

INSTITUTE OF GEODESY

INFORMAČNÍ MODEL SKUTEČNÉHO PROVEDENÍ RODINNÉHO DOMU

AS-BUILT BUILDING INFORMATION MODEL OF THE HOUSE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

Bc. Michaela Zachová

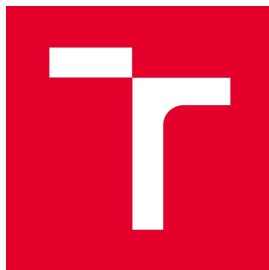
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

Ing. TOMÁŠ VOLAŘÍK, Ph.D.

SUPERVISOR

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3646R003 Geodézie a kartografie (N)
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Michaela Zachová
Název	Informační model skutečného provedení rodinného domu
Vedoucí práce	Ing. Tomáš Volařík, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2019
Datum odevzdání	22. 5. 2020
V Brně dne 30. 11. 2019	

doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Novotná, Helena: Základy BIM I. – Revit Architecture, seznámení s programem, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2014

NOVOTNÁ, Helena: Základy BIM II – Revit Architecture pokročilé kapitoly, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2015

Bc. Věra Pavlíčková Vypracování metodik pro tvorbu informačního modelu budovy. Brno, 2014. 54 s., 20 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.

Bc. Veronika Sládková Vypracování metodik pro tvorbu informačního modelu budovy. Brno, 2014. 56 s., 21 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.

Bc. Jakub Staufčík Využití laserového skenování v informačním modelování budov. Brno, 2019. 62 s., 10 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Tomáš Volařík, Ph.D.

Bc. Jan Haltmar Využití laserového skenování v informačním modelování budov. Brno, 2019. 65 s., 4 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brn, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Tomáš Volařík, Ph.D.

Manuály a tutoriály programu Autodesk Revit

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V rámci diplomové práce provedte řešerši procesu informačního modelování budovy (BIM) z laserového mračna bodů (scan to BIM workflow) a pomocí dalších geodetických technologií v SW Autodesk Revit. Na vybraném stavebním objektu otestujte několik možností tvorby modelu a dokumentace skutečného provedení formou BIM. Jednotlivé možnosti zhodnoťte v závěru práce. Volitelným výstupem bude vizualizace modelu v prostředí webového prohlížeče.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

Ing. Tomáš Volařík, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá tvorbou informačního modelu stávajícího rodinného domu na základě dat získaných prostřednictvím laserového skenování.

První část práce se zabývá problematikou informačního modelování, jejím aktuálním stavem ve světě a v České republice. Dále pojednává o samotném principu laserového skenování.

Druhá část práce se věnuje praktickému zpracování informačního modelu budovy v prostředí programu Revit od sběru dat po zpracování. Výstupem praktické části je samotný model budovy a z něj vytvořená zjednodušená dokumentace skutečného stavu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Informační model budovy, laserové skenování, mračno bodů, Revit

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the creation of an information model of an existing family house based on data obtained by laser scanning.

The first part of the diploma thesis contains information on the issue of the BIM method, its state in the world and in the Czech Republic. It also describes the principle of laser scanning.

The next part of the work is devoted to the practical processing of the information model of the building in the environment of the Revit software. The output of the practical part is the building model itself and simplified building documentation created from it.

KEYWORDS

Information building model, laser scanning, point cloud, Revit

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Michaela Zachová Informační model skutečného provedení rodinného domu. Brno, 2020. 68 s., 6 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Tomáš Volařík, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem Informační model skutečného provedení rodinného domu je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 22.5. 2020

Bc. Michaela Zachová

autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem Informační model skutečného provedení rodinného domu zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 22.5. 2019

Bc. Michaela Zachová

autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Velké díky patří vedoucímu diplomové práce Ing. Tomáši Volaříkovi, Ph.D. za jeho veškeré rady a zkušenosti v dané problematice, za jeho trpělivost a věnovaný čas. Chtěla bych také poděkovat své rodině a příteli, kteří mě v průběhu studia podporovali.

OBSAH

1	Úvod	10
2	Srovnání dosavadní literatury	11
3	BIM	13
3.1	Historie	14
3.2	BIM jako proces	15
3.3	BIM jako nástroj	18
3.3.1	LOD (Level of Development)	18
3.3.2	Knihovny/rodiny	20
3.3.3	Společné datové prostředí (CDE)	21
3.3.4	Datový standard stavebnictví (DSS)	22
3.3.5	IFC formát	22
3.3.6	Klasifikační a třídící systémy (př. CoClass, SNIM)	23
3.4	Stav V ČR	24
3.5	Stav ve světě	25
3.6	Ukázky využití BIM	27
4	Prostorová digitalizace stávajícího objektu	30
4.1	Laserové skenování	31
4.2	Příklady využití skenování v různých oborech	34
5	Představení modelovaného rodinného domu	37
6	Použitá technologie zaměření	38
6.1	Pozemní laserový Skener	38
6.2	GNSS aparatura	39
6.3	Totální stanice	40
6.4	Laserový dálkoměr	41
7	Pracovní postup digitalizace objektu	42
7.1	Tvorba sítě	42
7.2	Průběh skenování	43
7.3	Registrace cílů (Target registration)	44
7.4	Mračno bodů a práce s ním	46
8	Tvorba modelu budovy	47
8.1	Konstrukční prvky	49
8.2	Schodiště	51
8.3	Komponenty oken a dveří	52

8.4	Zařizovací předměty	53
8.5	Tvorba vlastních rodn	53
8.6	Komponenta Trubky	55
8.7	Souřadnice modelu	56
8.8	Modelování okolí domu.....	57
9	Přesnost mračna a modelu	58
10	Závěr.....	60
11	Seznam použitých zdrojů	61
12	Seznam použitých zkratk.....	65
13	Seznam použitých obrázků	66
14	Seznam použitých tabulek a grafů	67
15	Seznam příloh	68

1 ÚVOD

Naše generace žije v digitálním světě 21. století. Bez elektronických informací bychom už byli jen těžko schopní udržet krok s dobou a normálně fungovat. Často jsou na nás kladeny stále větší nároky a jedinou možností úspory času je urychlení pracovních postupů za pomoci modernizace. Obor stavebnictví si v tomto ohledu oproti jiným odvětvím dlouhou dobu udržoval svou konzervativnost vůči novým přístupům. Zakázky jsou často běh na dlouhou trať vyžadující zdlouhavou přípravu a koordinaci větší skupiny lidí. Zajištění dokonalého přenosu informací bez ztráty mezi všemi subjekty je téměř nemožné, každá sebemenší změna projektu může ovlivnit dobu trvání výstavby, metodicky ji zkomplikovat a navýšit finální cenu. Jako možné řešení, které by mohlo napomoci alespoň s lepší koordinací projektů, se nabízí digitalizace stavebnictví s využitím metody informačního modelování (BIM), o které se posledních 10 let mluví stále častěji.

Zlomovým rokem by mohl být v našem českém prostředí rok 2022, odkdy by měla být koncepce BIM závazně využívána pro všechny nadlimitní veřejné zakázky. Stát vidí výhody při využití metody pro systematictější kontrolu stavu zakázky, a hlavně úspoře časových i finančních zdrojů. Využití metody však nemusí být omezeno pouze na plánované projekty výstavby, svoji využitelnost nese i pro archivaci stavu již stávajících budov, k nimž nemají vlastníci například k dispozici aktuální dokumentaci. A právě této problematice se věnuji v této práci.

Cílem této práce je popsat aktuální dění ohledně problematiky BIM v České republice a shrnout možnosti jejího využití, největší výhody a nevýhody, které plynou pro dílčí subjekty podílejících se jakýmkoliv způsobem v životním cyklu budovy.

Praktickou částí práce je tvorba informačního modelu stávajícího dvoupodlažního rodinného domu v prostředí programu Autodesk Revit, vhodných vizualizací a v konečném výsledku dokumentace skutečného stavu budovy z vytvořeného modelu pro účely majitele domu. Dokumentování stavebních objektů je vedeno podle vyhlášky č. 499/2006 Sb., O dokumentaci staveb a vyhotoveno podle příslušné normy ČSN 01 3420 Výkresy pozemních staveb. V práci je popsán postup získání dostupných informací (především geometrických dat) s využitím geodetického zaměření a metody laserového skenování. Výsledný model je umístěn do závazného souřadnicového systému JTSK.

2 SROVNÁNÍ DOSAVADNÍ LITERATURY

V souvislosti se zaváděním BIM nejen v České republice, ale i ve státech po celém světě se problematice BIM věnuje stále více odborníků. Vzhledem k inovování a modernizování procesů vedoucích k urychlení a zefektivnění veškerých postupů proto vzniká spousta článků a knih sloužících ke vzdělávání ať už laické nebo již zasvěcené veřejnosti. Většina zdrojů je dostupná prostřednictvím internetu. Ráda bych se v této kapitole proto o výběru některých zdrojů krátce zmínila.

Zahraniční literatura je v tomto ohledu poněkud rozsáhlejší než česká. Většinou se snaží autoři BIM kategorizovat, popisovat jeho dopady na stavebnictví a ostatní odvětví. Jiní hledají způsoby tvorby standardů, řešení datových uložišť, které dopomohou bezproblémové komunikaci.

Nejpokládanější otázkou ohledně BIM metody je, jaké jsou její výhody a nevýhody. Právě přínosy se ve své práci věnoval například Charles Eastman [14] nebo Sanchez a Joske, kteří přínosy metody porovnávají na základě rozsáhlé rešerše dostupné literatury. [32] Všichni tito autoři se věnují hlavně posouzení výhod z pohledu jednotlivých profesí, tedy přínosy pro stavebníky, architekty a jiné pracovníky, kteří se na projektu nějakým způsobem přímo podílejí. Každá větší změna ovlivňuje více oblastí, které s problémem na první pohled přímo vůbec nesouvisí. Například sociologickým dopadem vlivem zrychlení zaběhnutých metod v oblasti stavebnictví ve svém seznamu podrobně rozpracoval Deutsche. Označuje takové výhody jako tzv. spolupřínosy. Jeho práce je obsáhlá a stojí za zmínku. [10]

V české literatuře se autoři věnují hlavně ekonomické stránce věci, otázkami, jak co nejefektivněji BIM adaptovat podle inspirace ze zahraničí na naše podmínky, nebo praktickým pokusům využití modelování na konkrétních stavebních objektech. Stavaři testují možnosti projektování a vizualizací pomocí různých nástrojů od samotného počátku. Geodetické obory se v tomto ohledu ubírají spíše informačním modelováním stávajících budov, tvorbou metodik a postupů pro sběr dat. Mezi tyto práce bych zařadila diplomové práce Vypracování metodik pro tvorbu informačního modelu budovy Věry Pavlíčkové [26] a Veroniky Sládkové [37].

Ohledně této problematiky vznikají i zajímavá díla týkající se modelováním historických budov na základě laserového skenování, které se jeví, jako spolehlivý a rychlý zdroj dat. Příkladem může být dlouholetá práce Andrew Tallona a D. Sandrona, kteří vytvořili publikaci založenou na modelování stavu pařížské katedrály Notre-Dame. [31]

A rozhodně největším přínosem v posledních letech pro praxi jsou práce fungujících podniků v oblasti projektování či modelování, které problematiku testují na pilotních projektech, hledající co nejjednodušší řešení splňující požadavky zadavatelů. Zajímavým příkladem se jeví rozplánovaný projekt Green Court Bucharest společnosti SKANSKA v Rumunsku. [36] Ale zajímavých projektů v této oblasti stále přibývá. Některé firmy se věnují využití ať už modelování nebo jen sběrem dat i v nezvyklých oborech (testování stavu

vozovek a stavebních materiálů, zachycování netradičních stavebních objektů, apod.). Příkladem může být i využití laserového skenování v kriminalistice nebo jako podklad pro tvorbu zubních implantátů firmy DentalCAD. [20]

3 BIM

K definici BIM přistupují různé zdroje trochu odlišně. Někdo označuje za BIM samotný 3D model, tzv. digitální dvojče. Jeho potenciál je však mnohem širší. Seskupuje v sobě veškeré informace a dokáže jako komplexní systém koordinovat jejich výměnu mezi všemi subjekty. Jiné zdroje přistupují k definici BIM z pohledu propojených procesů nebo metodiky. Uvedu zde definice z různých zdrojů, které udávají, že:

- „Informační model budovy je inteligentní proces pro tvorbu a správu projektů založený na modelu.“ [7]
- „BIM je proces zahrnující generování a správu digitálních zobrazení fyzických a funkčních charakteristik míst a objektů. Slouží jednotlivcům, podnikatelským subjektům a orgánům veřejné správy, které plánují, vyvíjejí, konstruují, operují a spravují různé fyzické infrastruktury, jako jsou např. vodovody, kanalizace, elektřina, plyn, spojová zařízení, silnice, mosty, přístavy, domy, byty, obchody, továrny, skladiště a další.“ [44]

Můžeme také říct, že BIM je progresivní metoda tvorby projektové dokumentace stavebních projektů s reálnými a zejména finančními přínosy pro developery, investory, dlouhodobé vlastníky a uživatele. Jeho podstatným prvkem je tvorba a správa databáze, s tím spojené využívání informací týkající se daného objektu po celou dobu životního cyklu budovy (tedy od fáze návrhu, přes výstavbu, správu budovy, rekonstrukci, až po její likvidaci). [23]

Informační modelování může být přínosem pro všechny fáze životního cyklu stavebního projektu a budov uvedených níže.

Stavební projekt

Fáze předinvestiční		Fáze investiční		Fáze provozní	Fáze likvidační
Iniciace	Definice	Návrh	Realizace	Provoz	Likvidace

Životní cyklus budovy

Fáze stavebního projektu	Fáze provozní	Fáze likvidační
Životní cyklus užití stavby		

3.1 HISTORIE

Jedním z pramenů inspirující pozdější autory může být vize amerického průkopníka Douglas C. Engelbarta. Ve svém článku *Augmenting Human Intellect: Conceptual Framework* z roku 1962 nastínil možnost využití počítače ke zvýšení efektivnosti lidské práce v mnoha odvětvích, právě i ve stavebnictví s možností propojení informací o stavebních objektech. V dalších pracích se věnoval rozvržení grafického prostředí, které by umožňovalo uživateli pracovat s jednotlivými pohledy na objekt, a to jak 2D tak i 3D reprezentace dat. [15]

Chyběly už jen prostředky, na kterých by se dalo co nejlépe metodiku využít a otestovat. Proto již v této době vývojáři soustavně pracovali na tvorbě softwarových produktů, které by práci projektantům usnadnily. Odvětví tak otevřelo dveře vzniku grafického rozhraní SAGE a programu Sketchpad (první vydání Ivanem Sutherlandem v r. 1963), která dnes považujeme za předchůdce dnešních CAD návrhových programů. [21]

Další zdroje označují jako důležitý milník pro BIM rok 1975, kdy americký profesor Charles Eastman poprvé publikoval článek *The Use of Computers Instead of Drawings In Building Design* v časopisu *AIA Journal*. Ve svém článku popsal projekt svého týmu na Ústavu fyzického plánování na Carnegie-Mellon University, zabývající se konceptem databáze stavby, tzv. *Building Description System (BDS)*. Dospěl v něm k závěru, že tak dokáže zefektivnit proces navrhování o více než 50 %. Na principu BDS tehdy však v praxi dokázalo pracovat jen malé množství architektů. Svojí další práci *Glide (Graphical Language for Interactive Design)* v r. 1977 Eastman problematiku interaktivního navrhování detailněji rozpracoval a hlavní myšlenky se staly základem pro dnešní koncepci BIM. [11]

V 80. letech minulého století už na trhu díky vývoji na území USA a Anglie existovala hmotná skupina funkčních systémů, které projektanti testovali na konkrétních plánech a využívali je postupně v praxi. Za vývoj patří velký dík hlavně tamním vysokým školám a univerzitám. Mezi tyto systémy patří například GDS, EdCAAD, Rucaps, Sonata a Relfex. Právě Rucaps (r. 1986) jako první umožňoval práci s fázemi stavebního procesu a byl mimo jiné použit při výstavbě terminálu 3 letiště Heathrow. [28]

K hlavnímu vývoji programů, které v dnešní době definují trh, došlo díky dvěma tvůrcům ze Sovětského svazu. Gábor Bojár, zakladatel ArchiCADu (v r.1982 první program pro BIM spustitelný na osobním počítači) a Leonid Raiz, společně s Irwinem Jungreisem jako zakladatelé Revitu (v r.2000), tak informační modelování posunuli do podoby, jak jej známe dnes. [28]

Nápady i prostředky k informačnímu modelování jsou tedy vytvořené, zbývá je přizpůsobit praktickému využití. V posledních letech se tedy odborníci snaží v tomto ohledu kooperovat a hledat společná řešení, která by dopomohla významnému vývoji v oboru stavebnictví nejen z pohledu výstavby, ale i z pohledu kalkulace materiálu a samotného provozu budovy. Na základě vznikajících koncepcí, směrnic a článků pověřených organizací na úrovni států se problematika BIM dále vyvíjí a rozšiřuje své možnosti využití.

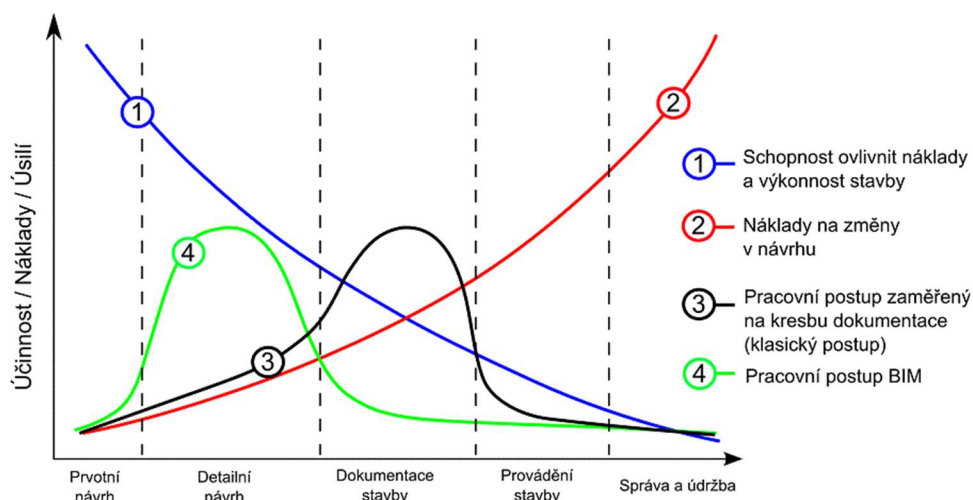
3.2 BIM JAKO PROCES

Můžeme říct, že BIM je databáze všech možných informací týkajících se konkrétní budovy a dílčí BIM model je digitálním dvojčetem reálné či projektované budovy. Všem subjektům (investoři, architekti, stavební firmy, správci budovy a další) podílejících se na jejím plánování, výstavbě a údržbě, přináší BIM kromě vizualizace i možnost sdílet změny a informovat tak o aktuálním dění kolem výstavby.

Doposud bylo plánování a tvorba dokumentace omezeny hlavně na tvorbu v 2D výkresech. Produkty, které projekční kanceláře vytvářely byly půdorysy, řezy a pohledy doplněné kótami, popiskami a tabulkami. Každý subjekt, který se postupně přidával do procesu, plány doplňoval o novou dokumentaci týkající se jeho profese a problematiku řešil jednotlivě v závislosti na aktuálním stavu. V takovém případě často docházelo ke ztrátám některých informací, nepochopením, vzniku kolizí a fatálních chyb, které se řešily při stavebním procesu přímo na místě a už se řešení nepřeneslo do dokumentace. Každá taková chyba měla dopad jak na stav, tak i čas dokončení výstavby a finální cenu. Možnost tvořit tuto veškerou dokumentaci automatizovaně z modelu, který je vizuálně názornější usnadní práci hlavně při předělání projektu. Každá změna se automaticky přenesla do všech půdorysů, řezů a pohledů. [21]

Výčet všech nevýhod aktuálně fungujícího postupu při realizaci stavby sám o sobě volá po změně. Změna metodiky je nevyhnutelná. Podle průzkumů se udává, že až 30 % staveb není schopno dodržet rozpočet. Pro 92 % zákazníků jsou odevzdávané výkresy nedostačující, téměř 40 % materiálu končí jako nevyužitý odpad a 10 % finálních nákladů je vynakládáno na opravu chyb při samotné realizaci projektu. [23]

Mezi hlavní benefity BIM proto patří zefektivnění všech procesů daného projektu, zvýšení produktivity, kvality plánování a samotného provedení stavby. Vliv na zátěž pracovníků a schopnost ovlivnění nákladů nejlépe vystihuje MacLeamyho diagram (viz. Obrázek č.1).



Obrázek č.1 MacLeamyho diagram efektivity návrhu s využitím metody BIM [9]

Z diagramu je patrné, jaký mají vliv probíhající fáze na finální cenu. Během stavebního procesu ztrácí projektanti možnost snižovat/zvyšovat náklady a výkonnost výstavby (modrá křivka). Každá změna v návrhu společně s uplynulým časem zvyšuje finální náklady projektu (červená křivka). Dokumentace se musí na základě změn přepracovat. Razantnější změny mohou způsobit i dočasné pozastavení stavby, a tudíž odklon od časového plánu. Černá a zelená křivka pak zobrazují rozložení pracovního procesu při klasickém postupu a postupu využívajícího metodiky BIM. U klasického postupu je vidět, že největší nároky jsou v procesu kladeny při fázi tvorby dokumentace stavby (uprostřed celého procesu). S využitím BIM je největší úsilí vynaloženo na začátku procesu při tvorbě návrhu, tedy ve fázi, která s případnými změnami zadavatele stojí vzhledem k červené křivce nejméně peněz. [9]

Data mohou být aktualizována více editory paralelně. Veškeré změny ve výstavbě mohou být analyzovány rychleji a komplexně ve všech sektorech, kterých se to týká. Výhodu nese i snadnější kalkulace nákladů a plánování doby výstavby, což může být přínosem i při výběrovém řízení firem zapojených do projektů. Některé montážní a konstrukční procesy je možné v BIM nasimulovat a zoptimalizovat tak montáž u složitějších budov jak po konstrukční i technické stránce a do jisté míry tak zamezit možným komplikacím při výstavbě. Řešení problému ještě před započítáním výstavby díky provázanosti všech dílčích částí tak dopomůže k plynulejšímu chodu celého postupu. Stavbyvedoucí budou v terénu pracovat opět na základě 2D výkresů v kombinaci s modelem, ale budou mít větší jistotu, že zapojením více lidí do tvorby při plánování a kontroly došlo k odstranění závažnějších chyb. [19]

Dopad na účastníky projektu

Největším přínosem pro investory je 3D model. Mohou tak po celou dobu kontrolovat stav projektu, provádět změny pro větší úspornost budovy, urychlit celý proces a ve výsledku výrazně ušetřit. Mohou vizualizaci mimo jiné využít k marketingovým účelům. [1]

Architektům se do určité míry zefektivní postup navrhování budovy. Získají možnost skloubit je s energetickými a pevnostními analýzami. Reagovat rychleji na možné změny v projektu. I samotné stavební firmy mohou systém využít při kontrole dodržování časového plánu při výstavbě. U složitějších projektů je možné nasimulovat na digitálním dvojčeti samotný proces a předejít možným kolizím. Získají také možnost přesněji a rychleji zpracovat výkaz výměr a s pomocí přehledného návrhu lépe koordinovat zaměstnance na stavbě. Správci budovy doposud využívají ve fázi provozu a údržby podklady pro revize a účely požární bezpečnosti. Získávají tak díky BIM přehled o celém průběhu výstavby a o všech zařízeních. [1]

S modelovým řešením přináší metoda také výhodu pro bezpečnostní složky při požárním zásahu. Zásahová jednotka tak může v případě problému zmonitorovat objekt a lépe se připravit před vstupem na zásah. [19]

Každá nově zaváděná metoda má však i svá úskalí, která se s časem třeba nějakým způsobem vyřeší nebo nezbude nic jiného než se procesu přizpůsobit. Mezi tyto nevýhody patří například ceny licencí užívaných nástrojů, které jsou pro konkrétní řešení vhodné, závislost na změně legislativního procesu při stavebním řízení, nedostatek knihoven a rodin, adaptovaných na české prostředí. Spousta firem je nucena na své finanční a časové náklady tvořit knihovny prvků. Ne všechny softwary různých výrobců jsou plně kompatibilní. A dalším velkým problémem, který je spíše otázkou času a zvyku, je školení specialistů, hledání způsobů, jak metodu BIM postupně zavést do zajetých kolejí firem a učení se práce s jiným přístupem k datům. Z toho také plyne náročnost na společné datové uložště všech dokumentů.

3.3 BIM JAKO NÁSTROJ

Pokud hovoříme obecně o BIM jako takovém, nesmíme za něj zaměňovat samotný 3D virtuální model, informační model, neboli model BIM, který je pouze jedním z mnoha výstupů interpretujících samotný projekt (podobně jako dílčí dokumentace, akorát obsahuje všechny).

Tento 3D model funguje vlastně jako taková obrovská databáze nesoucí nejen informace o geometrických rozměrech budovy a dílčích částech. Obsahuje i kompletní data zaznamenávaná v čase (stav od prvotního návrhu, přes celý životní cyklus, správu, rekonstrukci, až po demolici stavby). Tato databáze je závislá především na sdílení aktuálních dat a výměně informací (které mohou být zásadní v případě plánovaných změn).

V mnoha pramenech se autoři liší v tom, co lze za informační model vlastně považovat, a co ne.

V rámci informačního modelování je zásadní výběr správných prostředků k tvorbě. Aktuálně nastal na trhu velký boom tvorby a vylepšování nástrojů sloužících primárně pro účely modelování a s tím spojeného BIM projektování. Mezi tyto nástroje počítejme jak samostatné softwary, tak i specializované aplikace a nadstavby. Každý vývojář své nástroje s každou verzí přizpůsobuje pro použití v určitých oblastech. I přes to je však nutné říct, že každý nástroj může být vhodnější pro využití v jiné fázi projektu (nebo ve více fázích) než jiný. Některé programy se soustředí více na analyzování modelů a právě od toho se odvíjí možnost propojení více různých nástrojů v celém životním cyklu projektu a využít tak plně to nejlepší ze všech.

Mezi aplikace sloužící k obecnému navrhování objektů a modelování patří na dnešním trhu jednoznačně Autodesk (Revit, Civil 3D, Inventor), Trimble SketchUp Pro, Graphisoft ArchiCAD. K některým je možné navíc připojit velké množství nadstaveb, pluginů rozšiřujících jejich možnosti. Například pro Revit nadstavby Scan to BIM (pro modelování nad mračnem), Autodesk Point Layout (pro analýzu nad modelem a mračnem), CAD Studio (s nástroji zjednodušující tvorbu dokumentace objektů), nejrůznější nadstavby podporující export modelu do jiných formátů, a spousty dalších. Výše vyjmenované nadstavby (jejich zkušební verze) pro Revit jsem použila pro praktickou část této práce.

3.3.1 LOD (LEVEL OF DEVELOPMENT)

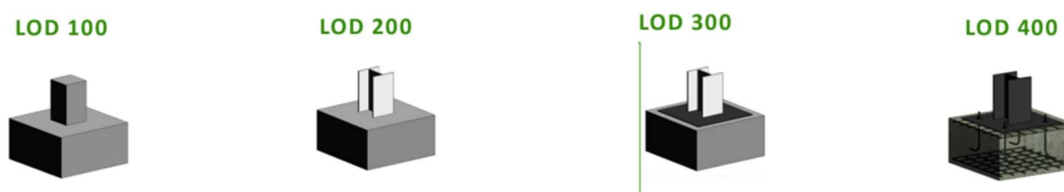
Krom formátu je důležité u informačního modelu stanovit jeho podrobnost. Tuto hledanou podrobnost popisujeme jako Level of Development. Úroveň LOD se dá charakterizovat konkrétním číslem. Čím vyšší číslo, tím je model podrobnější, informačně hodnotnější. Proto si musíme na začátku modelování ujasnit, jaké informace jsou pro účastníky opravdu důležité.

S Level of development úzce souvisí Úroveň detailu (LoD–Level of detail) a Úroveň informací (LoI–Level of information). Vztah mezi jednotlivými úrovněmi by se dal charakterizovat vzorcem

$$\text{LOD} = \text{LoD} + \text{LoI}, \quad (1)$$

ze kterého vyplývá, že úroveň podrobnosti je dána jak obsahem grafických, tak i negrafických informací. Rozdíl mezi nimi je v tom, že LoI řeší, co vše o prvcích víme (známe výrobce, rozměry, materiál, ze kterého je prvek vyroben, apod.) a LoD oproti tomu řeší, jak prvky vypadají.

Pro různé hodnoty LOD může mít tedy výsledný model trochu jinou podrobnost a tak i možnosti jiného využití. Původně s touto myšlenkou úrovní přišel Americký Institut Architektů a úroveň LOD stanovil v hodnotách 0, 100, 200, atd. Jejich myšlenkou se inspirovala i Velká Británie, oproti tomu ale tamní odborníci zavedli jiné číselné značení úrovní. UK úroveň LOD 2 odpovídá přibližně USA úrovni LOD 100, ale autoři se v některých pramenech v tomto srovnání lehce rozcházejí.



Obrázek č.2 Ukázka prvků s rozdílnou úrovní LOD - UK číslování úrovní

- LOD 1/- - Příprava: Model popisuje pouze základní informace o zastavěné ploše,
- LOD 2/100 - Studie: pracujeme s hlavní geometrií objektu (důležité jsou pouze rozměry, plochy, objemy, případně orientace). Tato úroveň je využitelná hlavně pro koncepční návrhy a objemové studie.
- LOD 3/200 - Rozpracovaný návrh: Do koncepčního modelu se navíc přidávají jednotlivé elementy (důležité jsou opět pouze rozměry, tvar, umístění a orientace). V některých případech se mohou přidávat i negeometrické informace. Možné využití je pro architektonické schématické návrhy a studie stavby.
- LOD 4/300 - Finální návrh: Řeší vazby a návaznost konstrukcí. Dochází ke zpřesnění geometrických dat celého modelu. Zvyšuje se i množství negeometrických informací.
- LOD 5/400 - Fáze realizace: Řeší se reálně provedení základních prvků z pohledu montáže. Při tvorbě modelu se simuluje samotná výstavba pro kontrolu provedení. Množství negrafických informací o prvcích využitelných

pro samotný provoz budovy je výrazně vyšší než v předchozích úrovních. Do určité míry se jedná o výrobní model. Model v takové úrovni detailu odpovídá v našem prostředí výrobní dokumentaci nebo dokumentaci pro výběry dodavatelů.

- LOD 6/500 – Fáze užívání: Digitální model odpovídá skutečnému provedení stavby. Detailně jsou řešeny vazby a geometrie všech konstrukcí. Model obsahuje velké množství negeometrických informací. Využitelný je mimo výstavby i pro provoz a údržbu facility management objektu. V našich podmínkách obsahuje více informací než projekt Skutečného provedení stavby.

3.3.2 KNIHOVNY/RODINY

Dalšími nedílnými součástmi BIM modelování je používání knihoven a rodin. To jsou další nosiče informací o naší budově a jejím zařízení.

Rodinou označujeme dva a více prvků, které mají společné vlastnosti (ty nazýváme parametry). Jedná se jak o popisné (poznámky, výkresy) tak i o objemové prvky (stěny, nábytek, zařízení apod). Tyto rodiny můžeme načíst a následně modifikovat, přidávat a ubírat části, měnit způsoby zobrazení v řezech a půdorysech, zkrátka je co nejvhodněji upravit pro náš projekt.

Systémová rodina obsahuje více druhů rodin, které slouží primárně k tvorbě základních prvků budovy, jako jsou stěny, podlahy, stropy a schody v modelu budovy.

Na mnoha internetových portálech je možné spousty rodin bezplatně stáhnout. I výrobci oken, dveří, stavebních materiálů, nábytků tvoří své vlastní rodiny, které je možné většinou pod podmínkou registrace získat bezplatně (např. SOLODOOR, Ytong, Ravak, atd.). Tyto kroky tak velmi usnadňují práci architektům a návrhářům interiérů. Mnoho firem však na vlastní pěst již začalo svoji tvorbu zpoplatňovat svým zákazníkům.



Obrázek č.3 Ukázka použitých rodin
dostupných z webových portálů

3.3.3 SPOLEČNÉ DATOVÉ PROSTŘEDÍ (CDE)

Model jakožto jeden z mnoha výstupů nese spoustu informací. Otázkou je, jak tyto informace zprostředkovat okolí.

Doposud je veškerá komunikace mezi projektanty, architekty a ostatními zprostředkovávaná formou telefonátů a e-mailové korespondence. A to tak i zůstane, ovšem pro lepší přehlednost, archivaci změn a plánů je nezbytné komunikaci doplnit komplexním informačním systémem nebo uložištěm všech informací, které se projektu mohou týkat. S tímto řešením se skloňuje pojem společné datové prostředí.

Společné datové prostředí je nezbytnou částí pro správné a plynulé fungování procesů BIM. Označujeme jej zkratkou CDE (Common Data Environment) a charakterizuje digitální uložiště, kam je v rámci projektu možné ukládat informační model, stavební dokumentace a plány, veškeré informace o průběhu pro všechny subjekty po celý životní cyklus budovy.

V následující tabulce uvádím srovnání výhod a nevýhod, aktuálně využívaných řešení výměny informací mezi subjekty rozdělených do třech kategorií. Do kategorie nízkonákladové řadím aktuálně využívaná řešení sdílení velkých dat, které firmy reálně využívají (služby založené na FTP, Google drive, DropBox, Office 365 nebo Úschovna.cz). Do skupiny standardních spadají placené verze Google Drive, Office 365 a DropBox. Třetí kategorií je využití CDE vlastním technologickým řešením.

Tabulka č.1 Srovnání výhod a nevýhod aktuálně používaných řešení sdílení dat

Nízkonákladové	Standardní	Vlastní techn. infrastruktura
+ řešení je zdarma	+ kapacita + licenční podmínky + rozšířené služby	+ kapacita závislá na způsobu řešení + otevřené standardy + platba je vedena za službu, ne na počet uživatelů + dostupnost na různých platformách + šifrovaná komunikace
- problém zabezpečení - licenční podmínky - negarantovaná dostupnost služeb - jednorázová či omezená možnost sdílení	- platba za počet uživatelů nebo vůbec - omezený přístup k datům - neadresné umístění dat - uživatelské prostředí nelze ovlivnit	+ přístup k datům + napojení externích uložišť a služeb + aktualizace a změna uživ. prostředí

Současný vývoj IT nabízí jako nejvhodnější možné řešení cloudové řešení. Umožní sdílení dat pro více subjektů s možností přístupu z mobilních zařízení i s různými OS.

V našich podmínkách je metodika výběru CDE pod záštitou Státního fondu dopravní infrastruktury stále rozpracovaná a aktualizována, aby byla v plném souladu s aktuálně platnými normami.

3.3.4 DATOVÝ STANDARD STAVEBNICTVÍ (DSS)

Základním kamenem digitálního stavebnictví je datový standard dělící informace o objektu na grafické a negrafické. Je tvořen dokumenty a dílčími databázemi. Cílem je definovat stavební prvky a k nim přidružené informace, procesy a spolu s tím i komunikaci mezi subjekty (výkazy množství, integrace s podnikovými systémy, plán údržby, simulace průběhu výstavby, prostorová koordinace, simulace ve virtuální realitě, analýza osvětlení, simulace stavů výstavby z pohledu BOZP, atd..). Snahou DSS je, aby byla všechna data vstupující do procesu strojově čitelná a bylo možné s nimi pracovat za pomoci různých nástrojů. Dílčími částmi DSS budou další standardy definující jednotlivé oblasti všech procesů, tedy standardy pro rozpočty, pro pasporty, pro účely facility managementu, a další. Jedním z nich je např. Datový standard informačního modelu stavby (DSIMS). Pro strukturalizaci geometrických dat je dnes využíván mezinárodní datový standard IFC společně s příslušnými normami, který v r. 2017 vyhlásilo MPO jako celostátně podporovaný pro aplikace BIM. [16]

Tvorbou standardů pro ČR se aktuálně věnuje pracovní skupina Koncepce BIM.

3.3.5 IFC FORMÁT

Podmínkou pro správnou funkčnost celého procesu je kompatibilita výstupu s jednotlivými softwary vyvíjené pro tvorbu a úpravu modelů. Pro tento účel byl stanoven formát IFC (Industry Foundation Class), jejímž autorem je International Association for Interoperability. Pokud by měl každý výrobce softwaru svůj vlastní formát, omezoval by tak své uživatele pouze na své produkty. Ti by pak nemohli své návrhy posílat jiným subjektům využívající jiné programy a docházelo by k omezování šíření dat. Proto je IFC formát podporován dá se říct všemi výrobci softwarů zabývajících se touto problematikou.

Dalším důležitým aspektem IFC formátu je dlouhodobá udržitelnost modelu (licence na konkrétní programy jsou často v řádech několika let, ale doba životnosti budovy je desetkrát větší).

3.3.6 KLASIFIKAČNÍ A TŘÍDÍCÍ SYSTÉMY (PŘ. COCLASS, SNIM)

Pro účely efektivního využívání BIM je třeba využít nějaký třídící, či klasifikační systém, který zajistí jednotné definování stavebních konstrukcí v každém modelu.

SNIM

V souvislosti s tvorbou jednotného datového standardu představila Odborná rada pro BIM v říjnu 2019 SNIM (Standard negrafických informací 3D modelu). Jedná se o datový standard, třídící systém, jehož hlavním principem je sjednocení názvů a dat týkajících se procesů realizování staveb. Konstrukce třídí do dvou hlavních skupin, na typy stavebních prvků (TSP) a jejich podtypy (PSP). Do TSP spadají základní části a celky společně tvořící budovu (např. sloup, stěna, stropní deska, schodiště, atd.). PSP se dále dělí na skupiny Společné (zde se definují délky, plochy, objemy stavebních prvků, a jiné) a Různé (popisující typy profilů, opláštění, pevnosti použitých materiálů, stupně výztuže, atp.). [17]

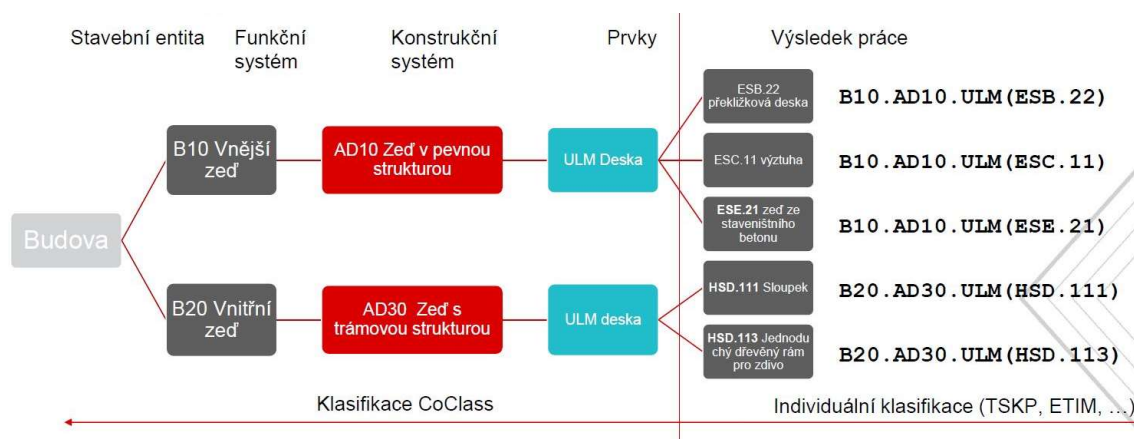
Všechna tato data jsou zapsána pomocí kódu, který má pro každý prvek dvě části. První část je definována samotnými administrátory a je pevně daná, Druhá část je volně přizpůsobitelná uživatelem. Příkladem kódu může být např. ON.02.O1.125, kde první část charakterizuje typ stavebního prvku (v našem případě ON = okno), druhá podtyp stavebního prvku (02 = hliník), další uživatelský typ (O1=okno typu č.1) a poslední část označuje počet výskytů (125 = okno typu O1 se v projektu vyskytuje 125x). [17]

Sami autoři SNIM poukazují na to, že jeho potenciál je využitelný nejen pro stavební a architektonická data ale i pro technické zabezpečení budov, dopravní stavby a specifické liniové stavby.



CoClass

V listopadu 2019 byl publikován výběr klasifikačního systému CoClass, pro prozatímní testování na předem určených pilotních projektech a postupnou úpravu pro české podmínky. Tvůrcem tohoto systému je švédská skupina zastoupená Klausem Eckenbergem. Společně s tím v mezinárodní spolupráci se zeměmi jako je Velká Británie, Švédsko, Norsko, Francie, Estonsko, Německo a další, vzniká platforma CoClass International (CCI), která by se mohla stát celoevropským klasifikačním systémem. [16]



Obrázek č.4 Příklad třídění konstrukcí stěn systémem CoClass [16]

3.4 STAV V ČR

Po schválení Konceptu zavádění metody BIM v ČR v září 2017 usnesením č. 682 byly pracovní skupiny při Radě vlády pro stavebnictví rozšířeny o Pracovní skupinu pro zavádění metody BIM do praxe. Tímto schválením se český trh zároveň rozšířil o velké množství firem, které se začaly touto problematikou více zabývat a začaly ji testovat na pilotních projektech.

Odborníci aktuálně pracují na tvorbě Digitální technické mapy ČR, ze které by mohli projektanti a investoři čerpat při plánování projektů.

Jedním z cílů do budoucna je umožnění podání žádosti stavebnímu úřadu s vytvořeným BIM modelem v univerzálním IFC formátu. Tyto zásadní změny by měly vést hlavně ke zjednodušení procesů územního plánování, stavebního řízení, urychlení podávání a schvalování žádostí o stavební povolení. Proto je dalším důležitým bodem právní úprava stavebního zákona. Dne 12. února 2020 podepsal prezident republiky poslaneckou novelu zákona o zeměměřictví, díky které vznikne systém pro elektronické vyřizování záležitostí stavebního řízení. To by mohlo reálně fungovat v polovině roku 2023.

Tvorba a výběr vhodného CDE je v českém prostředí součástí úkolu vyplývajících z Konceptu zavádění metody BIM v ČR v usnesení vlády č. 682/2017 Sb.

3.5 STAV VE SVĚTĚ

V této kapitole se chci krátce zmínit o některých státech ve světě, které v průběhu implementace BIM docházejí k největším pokrokům a mnohdy inspirují svým řešením ostatní státy.

Skandinávské státy jednoznačně od začátku vedou s tvorbou požadavků na využití BIM na svých státních zakázkách. Finsko vymezilo již v roce 2001 pilotní projekty pro rozvíjení metodiky. Od r. 2007 funguje s nastaveným standardem CoBIM. Od r. 2015 je ve Švédsku využití BIM úrovně 2 povinné pro všechny veřejné zakázky. Hojně jej testují v oborech architektury z pohledu designování budov. Věří otevřeným standardům a veškeré projekty jsou proto odlišné. [3]

Ve Velké Británii vytvořili strategii vlády Spojeného království Stavebnictví 2011, která řeší implementaci metodiky. Povinné je uzákoněný pro všechny veřejné centrálně financované veřejné zakázky od r. 2016 s požadavkem na úroveň podrobnosti 2. Do roku 2025 plánují přejít na BIM úrovně 3. V Německu se k BIM přistoupilo k metodice oproti sousedním státům později. Důvodem může být zavedený decentralizovaný vládní systém, při němž je systém schvalování složitější. Od 1.1.2020 zde platí nařízení o povinnosti užití BIM pro veřejné projekty podobně jako v ČR pouze s tím rozdílem, že se snaží BIM prozatím implementovat pouze na infrastrukturu vodní, železniční a silniční sítě představující největší skupinu ve státních zakázkách. Projekty přesahující rozpočet pěti milionů eur budou využívat metodiky BIM od fáze návrhu až po provoz. Plánováním postupů a tvorbou dokumentace při zavádění metodiky se zde zabývá od roku 2015 s pověřením německého ministerstva dopravy skupina BIM4INFRA2020. [3]

Mexiko se v oblasti nachází v adaptační fázi, kterou odhaduje na období 2020-2021. Od r. 2019 pracují s vytvořeným strategickým plánem, který plný přechod odhaduje na rok 2026. Existují jednotlivé projekty, kde už BIM vyzkoušeli (např. projekt mezinárodního letiště v Mexico City). [3]

V Polsku dosud zákonně nepřijali metodu, avšak Ředitelství silnic (GDDKIA) podepsalo v letošním roce smlouvu na návrh prvního veřejného pilotního projektu obchvatu založeném na BIM. Ministerstvo rozvoje se zavázalo k vypracování národních norem k projektu Digitalizace stavebního procesu. Polské firmy s BIM už léta pracují s využitím vlastních interních standardů, ale pouze u zakázek pro zahraniční klienty. Například v Singapuru, vláda klade velký důraz na efektivitu a snaží se produktivitu stavebnictví zvýšit o 25 %. S testováním tu začali jako jedni z prvních už od r. 2010, kdy stavební úřady vydali plán na implementaci metody až na 80 % zakázek. Metodu povinně vyžadují u projektů s rozlohou větší jak 5000 m². [3]

Ve Španělsku v r. 2015 přišlo ministerstvo pro rozvoj se strategií esBIM, kde vytyčilo zásadní milníky při zavádění. Povinnost užití BIM na všech veřejných zakázkách je tu od roku 2018. O rok později byl požadavek rozšířen na projekty rozvíjející infrastrukturu. Využití BIM je v současnosti ve Španělsku na pokročilé úrovni. Právě Švýcarsko je jedním ze států, které se začaly s objevováním možností digitálního modelování seznamovat až později. Pracovní skupina pro koordinaci digitalizace v r. 2018 zveřejnila dohodu o možné implementaci BIM. [3]

Vietnam v prosinci 2016 přijala rozhodnutí o uplatnění metody pro stavební a provozní operace při řízení projektů. Zaměřují se zde hlavně na 4 oblasti podnikání, a to rozvoj cestovního ruchu, investice do nemovitostí, zemědělství a projekty zaměřené na obnovitelné energie. V současnosti se snaží zvyšovat povědomí o projektech a možnostech vylepšení. Problematiku aplikují na různé stavební projekty (2018-2020) a odhalují chyby. K oficiálnímu přijetí dojde v roce 2021. USA zatím do předpisů nijak nezavedlo požadování BIM pro stavební projekty. Od r.2003 se výjimky jednotlivých států snaží o implementování BIM na veřejné zakázky. Federální správa silnic se snaží podporovat myšlenku využití BIM v dopravních odděleních ve všech státech. [3]

Tabulka č.2 Přehled roků, od kterých vybrané státy oficiálně vyžadují BIM na veřejných zakázkách

Stát	Rok
Austrálie	2016
Brazílie	2021
Česká republika	2022
Dánsko	2011
Finsko	2015
Francie	2017
Hongkong	2017
Itálie	2025

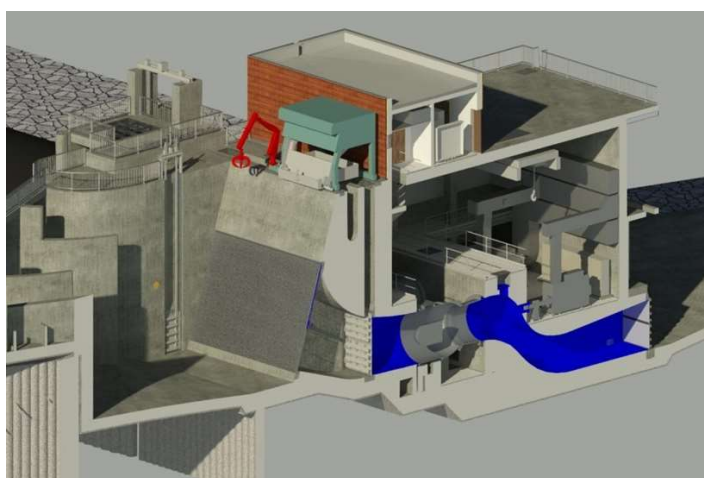
Stát	Rok
Německo	2020
Singapur	2015
Španělsko	2018
Švédsko	2015
Velká Británie	2016
Vietnam	2021
UAE (Dubaj)	2013

Užitečnost BIM pro veřejný systém Rada EU schválila v r. 2014 směrnici O zadávání veřejných zakázek umožňující zadavatelům požadovat při státních zakázkách právě BIM. Na evropské úrovni řešení otázek okolo BIM zastává pracovní skupina EU BIM Task Group podporovaná Evropskou komisí, jež zprostředkovává komunikaci mezi kompetentními orgány všech 27 členských zemí. V každém státě řešící problematiku BIM na státní úrovni byla vytvořena agentura zabývající se přizpůsobení využití BIM v praxi daného státu. V ČR je to konkrétně ČAS – Česká agentura pro standardizaci. [16]

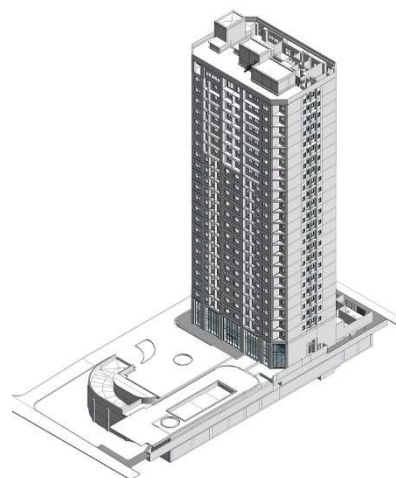
3.6 UKÁZKY VYUŽITÍ BIM

Množství projektů, které za poslední roky s využitím BIM modelování vzniklo, je neuvěřitelné. V této kapitole bych ráda ukázala některé příklady konkrétních projektů. Příkladem vodohospodářského projektu vytvořeného metodikou BIM je např. projekt vodní elektrárny Raško v Srbsku. [1]

Ve Vietnamu byl jedním z prvních projektů, který plně otestoval možnosti informačního modelování, projekt bytového komplexu výškové budovy Vinata v Hanoi. V projektu tvůrci modelovali nad 2D CAD výkresy. V procesu modelování se zaměřili také na opravování chyb v modelu v rámci kolizí, a jejich projevené změny v dokumentaci. [27]



Obrázek č.5 Model vodní elektrárny Raško v Srbsku [1]



Obrázek č.6 Vinata Tower v Hanoi [27]

Nizozemí zaznamenává vyšší nárůst povodňové aktivity. V rámci projektu úpravy 30ti řek. BIM projekce v případě městských mostů a jezů, které zabraňují záplavám ve městě Nijmegen na řece Waal, umožnila využitím vhodných nástrojů analyzovat záplavové zóny a

projekt lépe přizpůsobit. Analýzou došli z více řešení k volbě rozšíření říčního koryta (včetně stavby mostů, jezů a hrází). [2]

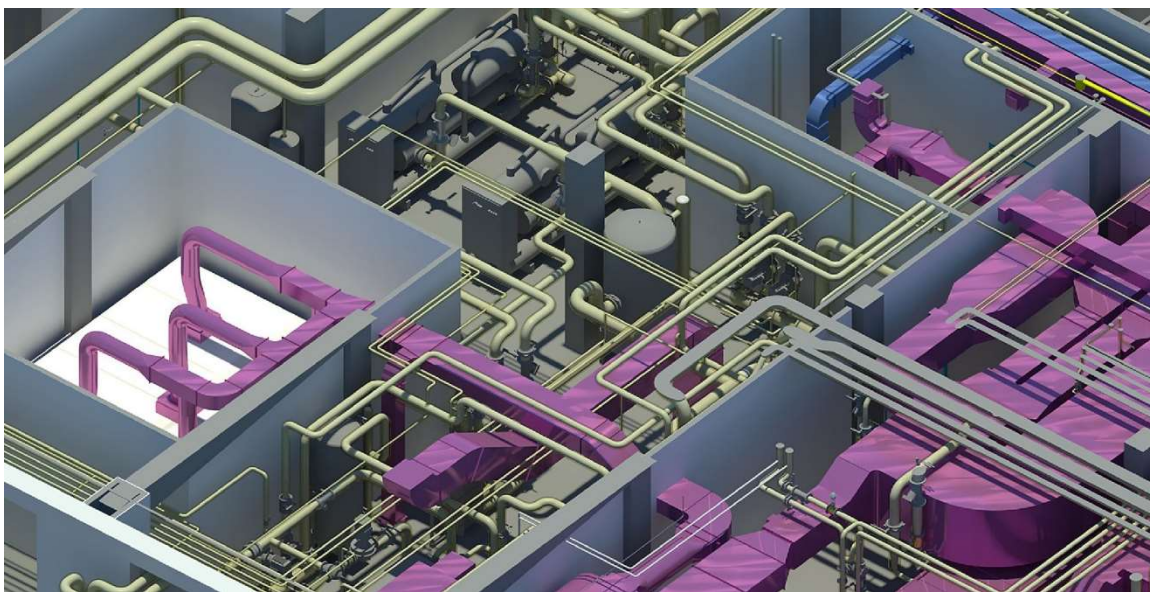


Obrázek č.7 Projekt úpravy řeky Waal proti záplavám [2]

Projekty pro implementování BIM na nejen zahraničních zakázkách se věnuje i česká firma CADConsulting, spol. s r.o., mezi jejíž další zajímavé zakázky patří například projekt modelování interiéru mezinárodního letiště v Abu Dhabi nebo závod na výrobu kapalných a pevných lékových forem v Rusku. [5][6]



Obrázek č.5 Ukázka projektu mezinárodního letiště v Abu Dhabi [6]



Obrázek č.6 Ukázka modelu závodu na výrobu pevných a kapalných lékových forem [5]

4 PROSTOROVÁ DIGITALIZACE STÁVAJÍCÍHO OBJEKTU

Měření budov, nebytových veřejných prostor, jednotlivých bytů, podzemních a nadzemních částí budov a určování obvodu konkrétních, již existujících, budov, patří bezpochyby mezi zeměměřické úlohy prováděné nejen ve veřejném zájmu.

Pro veškerá geodetická měření je nezbytné dodržovat předem daná pravidla dle právních a technických předpisů regulující tyto činnosti.

Výsledky těchto činností, využívané ve veřejném zájmu musí být dokumentovány v závazných geodetických referenčních systémech a těmi jsou v České republice polohový Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK) a výškový systém Balt po vyrovnání (Bpv).

Metody pro měření bytových a nebytových prostor je třeba volit tak, aby splňovaly veškeré předem dané technické parametry pro výstupy (půdorysy, řezy, model, apod.). Na začátku měření je třeba určit primárně obvod budovy, tím je myšlen průnik ortogonálního průmětu vnější stěny obvodu budovy s terénem. V případě atypických budov se jedná o průmět vnějšího obvodu na terén. [43]

Toto měření je třeba připojit k závaznému referenčnímu systému (polohově i výškově) pomocí:

- a) geodetické metody a technologie GNSS podle katastrální vyhlášky – V současné době se jedná o nejčastěji používané a v praxi dlouhodobě využívané metody pro určování souřadnic podrobných bodů polohopisu/výškopisu a připojení měření do závazného souřadnicového systému.
- b) fotogrammetrické metody – Tyto metody se stále podobně jako laserové skenování neustále vyvíjejí.
- c) dálkově pilotované letecké systémy (UAS) – Jedná se o relativně novodobou fotogrammetrickou metodu využívající bezpilotní letadlo vybavené kamerou s dostatečným rozlišením, v některých případech i GNSS jednotkou.
- d) převzetí z geodetických informací z ISKN, pokud byla budova určena v třídě přesnosti 3 podle katastrální vyhlášky.

Dále se pokračuje měřením interiéru. Zde můžeme opět využít různých metod, např.:

- a) geodetické metody
- b) pozemní laserové skenování
- c) měření pomocí laserového dálkoměru
- d) z digitálních stavebně technických zaměření skutečného stavu objektu – tato data je třeba vždy bezpodmínečně ověřit, zda se opravdu shodují se skutečným stavem.
- e) aktualizací odlišných částí z bodu d) [43]

4.1 LASEROVÉ SKENOVÁNÍ

Protože, jsem se rozhodla pro tvorbu informačního modelu využít této metody, je vhodné zmínit se stručně o jejím principu a možnostech využití v praxi. Na poli technického světa se nejedná o žádnou novinku, během posledních deseti let urazila slušnou cestu v rozšíření své využitelnosti. Laserové skenování je bezkontaktní metoda určující prostorové souřadnice obrovského množství bodů (v řádech několikaset tisíc bodů za sekundu). Z geodetického pohledu se jedná o prostorovou polární metodu.

Základním principem určení polohy jednotlivých bodů je v měření úhlů a délky mezi zdrojem a bodem odrazu.

Principy určení délky

Co se týče délky, ta se měří převážně elektronicky, ve výjimečných případech optoelektronickou metodou. Přístroje využívají různé způsoby pro přesné určení zmíněných délek Elektronické dálkoměry můžeme podle způsobu určení délky ještě rozdělit na dvě skupiny, a to na:

- 1) dálkoměry impulsní
- 2) dálkoměry fázové

Impulsní dálkoměr měří délky pomocí tzv. tranzitního času (τ), což je doba, za kterou vyslaný impuls urazí trasu od vysílače k cíli, tam a zpět. Výsledná délka je tak určena pomocí následujícího vztahu:

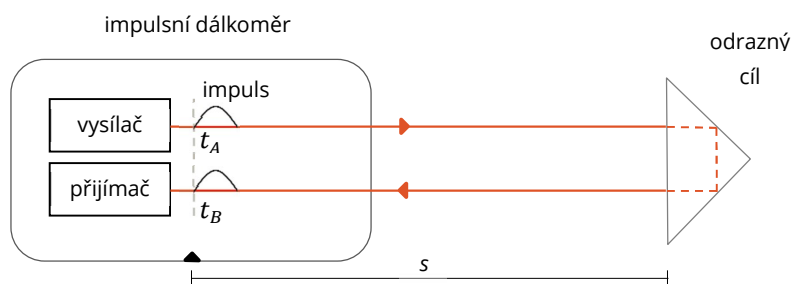
$$s = \frac{c \cdot \tau}{2}, \quad (2)$$

kde tranzitní čas τ můžeme vyjádřit jako rozdíl měření časů při vyslání a přijetí impulsu:

$$\tau = t_B - t_A, \quad (3)$$

kde proměnné v rovnici charakterizované jako

- s určovaná vzdálenost mezi dálkoměrem a cílem,
- c rychlost světla v daném prostředí,
- t_A čas vyslání impulsu,
- t_B čas přijetí impulsu. [33]



Obrázek č.9 Princip impulsního dálkoměru

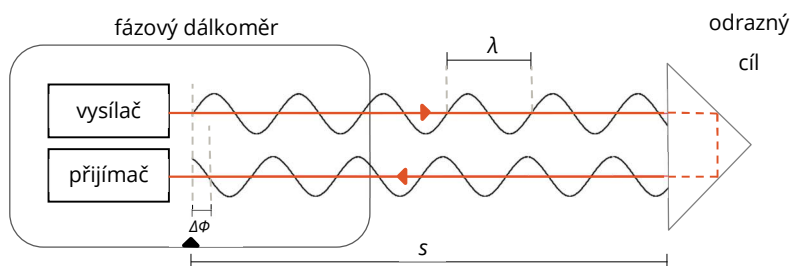
Oproti tomu druhá skupina využívá pro určení délky fázového posunu. Vyslaný infračervený paprsek má různé vlnové délky. Paprsek dopadne na objekt a odrazí se zpět. Vzdálenost mezi určovaným bodem a přístrojem je dána fázovým posunem ve vlnách infračerveného světla.

Výsledná délka je tak pak určena pomocí vzorce:

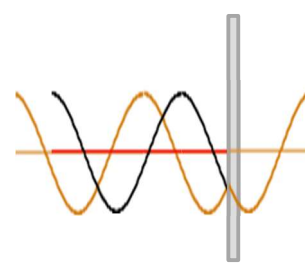
$$2s = n \cdot \lambda + \frac{\Delta\phi}{2\pi} \cdot \lambda \quad (4)$$

kde jsou proměnné v rovnici charakterizované jako

- s určovaná vzdálenost mezi dálkoměrem a cílem,
- n celočíselný počet vlnových délek,
- $\Delta\phi$ fázový rozdíl,
- λ vlnová délka fázového dálkoměru. [33]



Obrázek č.10 Princip fázového dálkoměru



Obrázek č.11 Princip odrazu vlny

Princip určení úhlů

Většinou je v pozemním skeneru v horní části přístroje rotující zrcadlo, které rozmetá paprsek do prostoru. Při využití dvou zrcadel lze paprsek vychylovat až ve dvou směrech. Zároveň se přístroj otáčí kolem své svislé osy. Výsledné souřadnice vůči poloze skeneru jsou dány pomocí snímače měření rotace zrcadla a horizontálního pootočení přístroje.

Obecně laserové skenování dělíme do skupin podle použitých nosičů, a to na

- a) statické pozemní/terestrické – zpravidla se jedná o přístroj postavený na stativu,
- b) mobilní pozemní – nosičem může být například automobil, loď, vozík
- c) mobilní letecké – v tomto případě je systém nesen letadlem, vrtulníkem nebo dronem,
- d) ruční – ruční skenery jsou vhodné pro skenování detailních tvarů nebo těsných prostor. [18]

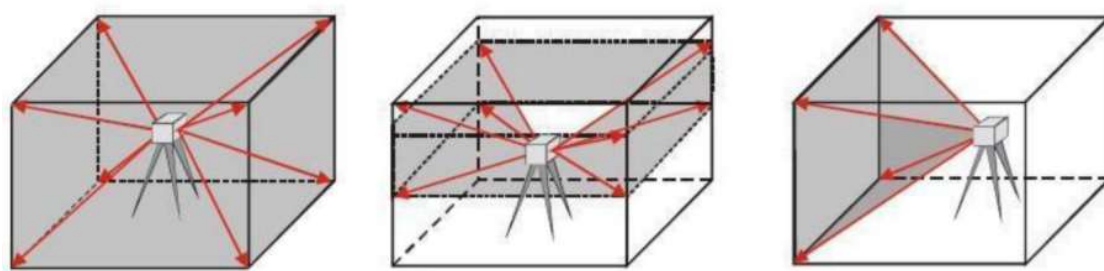
Prvotně se začínalo se statickým skenováním. Po jeho postupném zavádění do praxe se začalo uvažovat právě o vylepšení umístěním na jiné nosiče a zachycení tak většího území v kratším čase. Výzkum tzv. mobilních či dynamických mapovacích systémů (MMS) sahá až do 80. let minulého století. Důvodem byla potřeba zmapovat dopravní koridory, což je poměrně náročné na čas. Jako jedni z prvních s nápadem přišli v roce 1997 pracovníci z Centra pro Mapování (Centre for Mapping) na univerzitě v Ohiu. [45]

Dále se budu více věnovat hlavně pozemnímu skenování a jeho využití, protože konkrétně tuto metodu jsem využila pro sběr dat v praktické části této práce.

Pozemní skenery můžeme rozdělit do tří skupin podle prostoru pokrytí, a to na:

- a) panoramatické
- b) hybridní
- c) kamerové

Panoramatické skenery jsou díky servomotorům schopné zaznamenat téměř celý prostor. Hybridní skenery se vyznačují kombinováním více skenovacích metod, z pohledu prostoru pokrytí jsou omezené v pohybu v jedné ose. A nakonec kamerové skenery, které navádějí paprsek pomocí dvou zrcadel do poměrně malého zorného pole podobně, jako je tomu u kamery. [22]



Obrázek č.7 Typy pozemních skenerů podle zaznamenávaného prostoru: a) panoramatické b) hybridní a c) kamerové. [30]

Typově můžeme dále skenery rozdělit do následujících skupin na:

- a) víceúčelové skenery – pro práci v geodézii jsou nejvíce využívány
- b) triangulační skenovací systémy – ty se využívají spíše pro skenování drobnějších předmětů náročnějších na větší přesnost na velmi krátké vzdálenosti. Své uplatnění dnes nacházejí hlavně v oblastech strojírenství a archeologie.
- c) totální stanice s možností laserového skenování - rychlost měření se pohybuje v řádech několika set bodů z sekundu.
- d) speciální systémy – bývají speciálně vytvářené pro jeden konkrétní účel (např. skenování dutin). [30]

4.2 PŘÍKLADY VYUŽITÍ SKENOVÁNÍ V RŮZNÝCH OBORECH

Možnosti využití laserového skenování jsou opravdu široké, uplatnitelné v mnoha oborech, které přímo se stavebními obory nesouvisí.

Historické budovy

Domnívám se, že velký přínos má pozemní laserové skenování z historického pohledu pro ochránce památek při archivaci vzhledu a stavu složitějších fasád a interiérů u historických budov. Vezměme si konkrétní příklad požáru v pařížské katedrále Notre-Dame v dubnu 2019, který zničil část střechy, a sanktusovou věž nad chrámovou lodí. V roce 2015 prováděl profesor Andrew Tallon kompletní skenování prostoru katedrály s pomocí vybavení Leica Geosystems pro tvorbu 3D modelu a právě jeho práce může být použita jako podklad pro případnou rekonstrukci. [34]



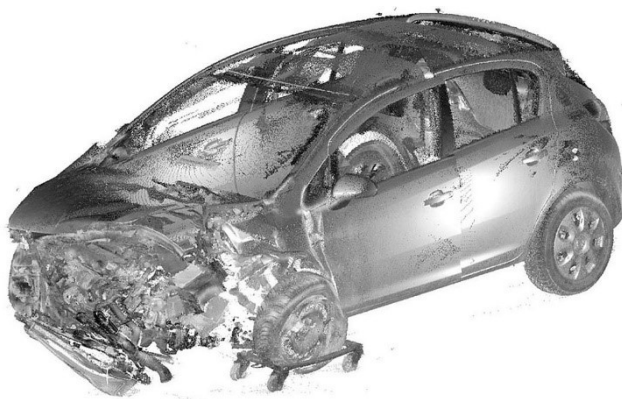
Obrázek č.8 Pohled na mračno a 3D model Andrewa Tallona katedrály Notre-Dame odpovídající jeho stavu v r.1860. [29]

Kriminalistika

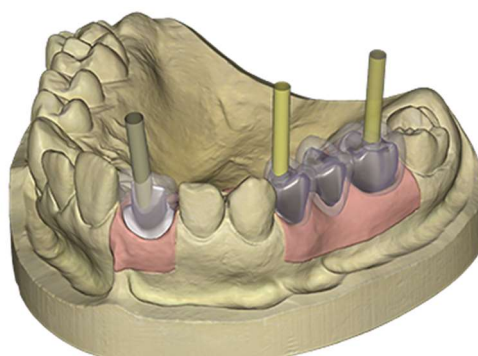
Abych tuto kapitolu nesoustředila pouze na práce ve stavebních a geodetických oborech, zmíním se zde i o využití laserového skenování v pro nás netradičním odvětví, které se posledních 20 let taktéž rychle modernizovalo, kriminalistice. V tomto kriminalistice se používají klasické pozemní mid-range skenery (pro skenování interiérů a míst činu až do vzdálenosti 100 m), v častějším případě spíše speciální micro (pro objekty velikostí pár centimetrů) a close-range skenery (pro objekty o velikosti okolo 1-2 m). Na základě získaných micromračen pak experti vyhodnocují otisky prstů, povrchové struktury vlasů či otisky pneumatik napomáhající k dopadení pachatele kriminálního činu. [38]

Doprava

Zajímavé využití můžeme nalézt i v případě automobilových nehod při posouzení škody na vozidlech, vyhodnocení stop při určení viníka a v některých případech s tím spojená simulace samotného střetu. Této problematice se usilovně věnuje švýcarská firma Dynamic Test Center.



Obrázek č.10 Mračno bodů automobilu pro vyhodnocení jeho škod [12]



Obrázek č.9 Model zubní náhrady [20]

Lékařství

I když se v tomto odvětví nepracuje konkrétně se skenery využívající ke snímání laser, stojí za to se zmínit o využití v lékařství, ku příkladu v ortopedii. V této oblasti se používají hlavně ruční skenery a používají se ke skenování částí těla například pro tvorbu protéz. V plastické chirurgii má model na základě skenování pro pacienta smysl takový, že mu pomůže si lépe představit stav po zákroku a samotnou simulací může před zákrokem lépe pochopit naplánovaný postup. S využitím speciálních 3D skenerů se můžeme setkat i při diagnostice páteře a odhalovat její poruchy (vychýlení do stran, posun obratlů a jiné).

Geodézie, stavebnictví

Takto posbíraná data se dají využít právě k pozdějšímu 3D modelování složitých objektů, vizualizaci, dokumentaci skutečného stavu, tvorbě digitálního modelu reliéfu apod. Pro maximální úsporu času je vhodně využít laserové skenování pro zachycení reality nejen u budov (hlavně nepravidelného tvaru), ale i u sledování stavu mostů.

Časté využití nachází LS při určení výškových úrovní na stavbách, kubatur nejen stavebních materiálů, výkopů a násypů, dokumentace povrchových lomů, ale i skládek (deponií). Aby bylo možné určit objem hmot, je zapotřebí mít modely dva, a to model povrchu uloženého materiálu a model plochy nacházející se pod ním (V případě výkopů model terénu před výkopem). K přesnému určení kubatur je třeba tedy skenování ve dvou etapách, před změnou a po.

Při pasportech zeleně, či svislého a vodorovného značení přináší LS umístěné na mobilní prostředek (vybavené GNSS/IMU jednotkou a odometrem pro zpřesnění určování polohy i v situacích při horším signálu z družic a z toho) i bezpečnější formu sběru dat než při užití klasických geodetických metod. Právě z vlastnosti mračna bodů a možnosti získání informace o intenzitě odrazu každého bodu je možné pohodlně kancelářsky aktualizovat stav vodorovného dopravní značení. MMS má v tomto oboru poměrně široké využití. Velký potenciál má kupříkladu i v diagnostice zpevněných povrchů a automatizovaném sběru poruch vozovky. [35] [42]

5 PŘEDSTAVENÍ MODELOVANÉHO RODINNÉHO DOMU

Předmětem tvorby informačního modelu, který je úkolem této diplomové práce, je rodinný dům stojící v brněnské městské části Tuřany. Stavba domu byla ukončena v roce 2015.

Dispozičně se jedná o dvoupatrový rodinný dům o jedné bytové jednotce jednoduchého obdélníkového tvaru s garáží a terasou. Objekt je bez podsklepení a je zastřešen plochou střechou. K domu je přilehlá zahrada, na které se nachází nízká vegetace a stromy. Vstup do domu je ze severovýchodní strany. V 1NP se nachází schodiště a hlavní chodba, ze které je umožněn přístup do technické místnosti, šatny, koupelny, kuchyně s obývacím pokojem a do garáže. Chodba v 2NP umožňuje vstup do dalších 5 místností, a to do koupelny, toalety, pracovny a 2 ložnic).



Obrázek č.11 Pohled na modelovaný rodinný dům (Google Street View)

Předmětem práce je tvorba dokumentace ke stavebnímu objektu z vytvořeného 3D modelu. Dokumentace, kterou má majitel objektu k dispozici, je k typově podobnému domu, avšak s jiným řešením interiéru.

Následující informace jsou přebrány ze zapůjčené dokumentace typově podobného domu. Obvodové nosné a vnitřní stěny jsou tvořeny z porobetonových tvárnic Ytong tl. 250 mm. Vnější stěny jsou dále zatepleny polystyrenovými deskami. Příčky jsou taktéž z pórobetonových tvárnic.

6 POUŽITÁ TECHNOLOGIE ZAMĚŘENÍ

Výsledný model je tvořen pro již existující budovu, proto bylo třeba zvolit metodu, díky které je možné spolehlivě zaměřit v co nejkratším čase co nejvíce. V případě této práce jsem proto zvolila pozemní laserové skenování. Další důležitou informací o budově je jeho polohové umístění vůči souřadnicovému systému (polohový systém JTSK a výškový Bpv). K tomu bylo z mého pohledu nezbytné vytvořit měřickou síť připojenou do systému prostřednictvím GNSS aparatury (blízko lokality se nenacházel žádný bod státního bodového pole). Pro určení špatně viditelných rozměrů v mračnu a kontrolu vybraných měř jsem využila pásmo a ruční laserový dálkoměr.

Následující podkapitoly se věnují výpisu veškerých použitých přístrojových a softwarových pomůcek a jejich bližším specifikacím.

6.1 POZEMNÍ LASEROVÝ SKENER

Se souhlasem vedoucího práce jsem se rozhodla použít metodu pozemního skenování s využitím skeneru FARO Focus^{3D} S 120 zapůjčeného od výzkumného centra AdMaS Fakulty stavební.

Vnitřní přesnost registrace skenů je dle výrobce ± 2 mm (na vzdálenost 10-25 metrů). Pro měření délek FARO využívá měření fázového posunu.



Obrázek č.12 Pozemní skener FARO Focus 3D (Foto: Autor práce)

Tabulka č.3 Technické parametry FARO Focus^{3D}

Dosah [m]	0,6 – 120
Rychlost měření [počet bodů/s]	Až 976 000
Zorné pole (horizontálně/vertikálně) [°]	360/300
Úhlový krok [°]	0,009
Přesnost měření délky [mm] Při měřené délce 10-25 m s 90% odrazivostí	± 2
Rozlišení fotoaparátu [Mpx]	70

Pro přesnější registraci skenů je dobré využít nějaké referenční cíle, dobře rozeznatelné na výsledných skenech. Které lze využít ke spojení jednotlivých vzájemně překrývajících se skenů. Pro tyto potřeby je možné využít krom jiných možností referenčních sfér ze speciálního materiálu s vysokou odrazivostí (standartně se vyrábí v průměru 200 mm nebo 140 mm).

6.2 GNSS APARATURA

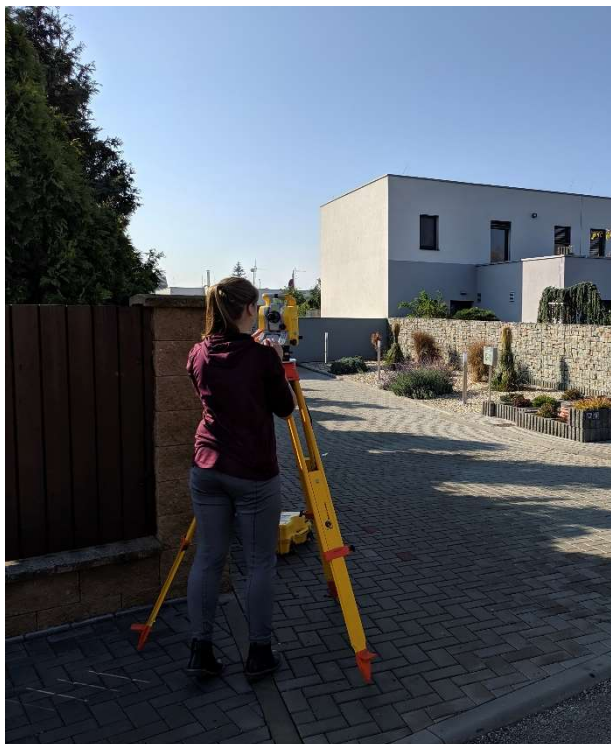
Pro umístění modelu do závazného systému JTSK jsem vytvořila síť v okolí domu, kterou jsem zaměřila GNSS aparaturou Trimble TR5 metodou RTK. Body sítě byly zaměřeny minimálně 2x s odstupem větším jak 2 hodiny. Informace o průběhu měření jsou součástí příloh této diplomové práce.



Obrázek č.13 Aparatura GNSS- Trimble TR5 (Foto: Autor práce)

6.3 TOTÁLNÍ STANICE

Pomocí totální stanice Trimble M3 jsem vytvořenou síť proměřila a zároveň zaměřila okolí pro tvorbu polohopisu v blízkém okolí domu (včetně charakteristických bodů domu pro ověření a srovnání s metodami laserového skenování a měření délek laserovým dálkoměrem.



Obrázek č.14 Totální stanice Trimble M3 (Autor práce)

Tabulka č.4 Parametry totální stanice Trimble [17]

Udávaná úhlová přesnost ["]	2
Rozlišovací schopnost dalekohledu ["]	3
Zorné pole dalekohledu	1° 20´
Dosah bezhranol [m]	až do 300
Přesnost dálkoměru Bezhranolový mód	± (3 mm +2 ppm)
Přesnost dálkoměru Mód na hranol	± (2 mm +2 ppm)

6.4 LASEROVÝ DÁLKOMĚR

Při měření a ověřování délek zejména v interiéru jsem využívala laserového dálkoměru Bosch DLE 40 Professional. Měření dálkoměrem bylo vhodné hlavně ve špatně přístupných místech, při měření výšky pokojů a vybraných měřených délek, které navíc sloužily k ověření přesnosti mračna bodů.

A pro ověření vnějších rozměrů domu jsem použila 30m svinovací pásmo.

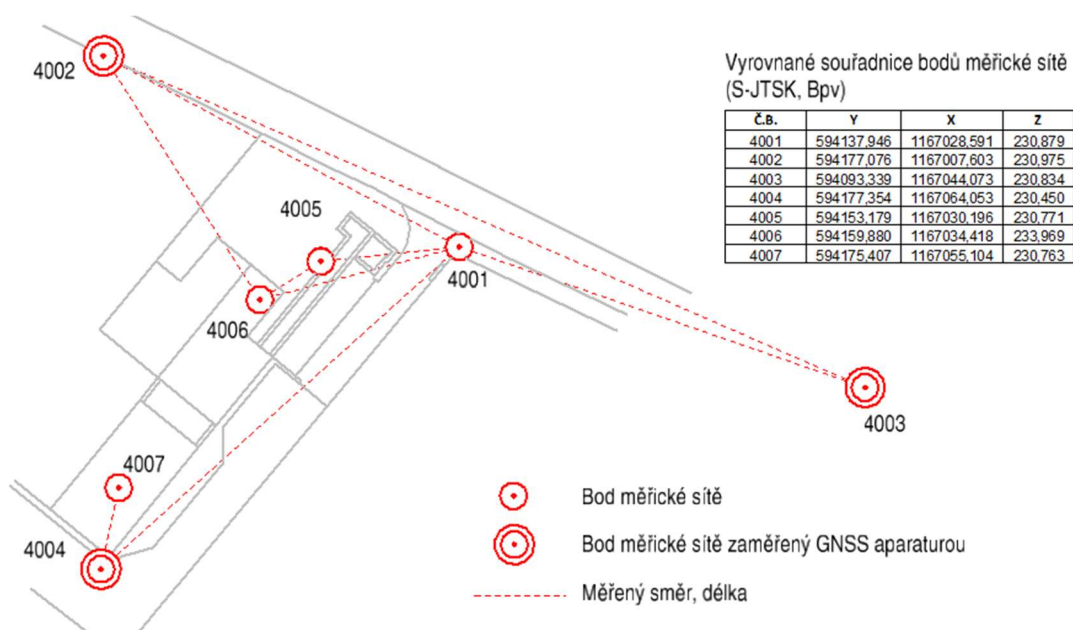
7 PRACOVNÍ POSTUP DIGITALIZACE OBJEKTU

V následující kapitole budou popsány postupy a dílčí části, které jsem zvolila pro tvorbu modelu. Jak již bylo řečeno v předchozích kapitolách, největší síla informačního modelu je v seskupení veškerých dostupných informací o modelovaném předmětu, a to nejen z pohledu geometrických rozměrů, ale i z pohledu polohy vůči souřadnému systému. Nezbytným základem pro modelování byla tedy tvorba mračna bodů interiéru a exteriéru budovy definující skutečné rozměry umístěného do souřadného systému JTSK.

Jako podklad pro tvorbu modelu jsem zvolila mračno bodů. K jeho získání jsem použila metodu laserového skenování, protože registrace jednotlivých skenů zabere zlomek času oproti jiným použitelným způsobům (např. měření laserovým dálkoměrem, metrem, totální stanicí, apod.) vedoucích ke zjištění geometrických vlastností. O principu metody jsem se zmiňovala v předchozích kapitolách.

7.1 TVORBA SÍTĚ

Po skenování bylo třeba určit souřadnice připojovacích bodů (vybraných štítků) ve správném souřadnicovém systému. Pro tento účel jsem vytvořila vnější síť a proměřila ji s využitím totální stanice. Body, sloužící k připojení sítě do S-JTSK a Bpv (4002 – 4004), jsem zaměřila minimálně 2x s časovým odstupem větším dvou hodin pomocí GNSS aparatury. Síť jsem pak vyrovnala v geodetickém výpočetním programu Groma v.12, který podporuje polohové i výškové vyrovnání. Výše zmíněné body jsem v rámci vyrovnání volila jako pevné. Souřadnice vyrovnaných bodů sítě jsou obsahem Přílohy č.3.

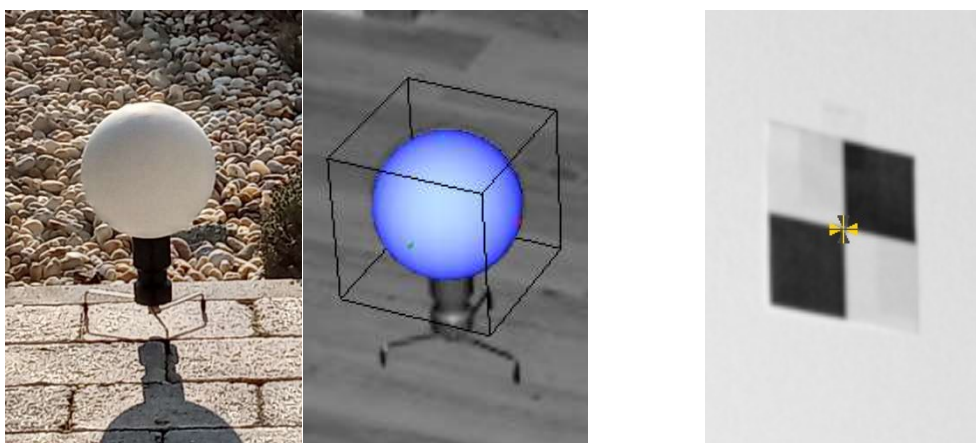


Obrázek č.15 Body okolní měřické sítě

Z této sítě jsem poté zaměřila polohopis a výškopis přilehlého okolí rodinného domu, jednoznačně identifikovatelné body domu (rohy otvorů pro okna, rohy domu) včetně několika štítků, jejichž souřadnice jsem později použila při transformaci mračna bodů.

7.2 PRŮBĚH SKENOVÁNÍ

Nejprve jsem se rozhodla skenovat interiér budovy. Při průběhu skenování a pro ušetření času jsem se snažila ve zbývajícím prostoru umisťovat šachovnicové štítky a referenční sféry průběžně v prostoru skenování. Zmíněné sféry bývají vyrobené ze speciálního materiálu s vysokou odrazivostí většinou v konkrétních poloměrech (výrobci je obecně prodávají ve velikostech o průměrech 90 mm, 145 mm nebo 200 mm).



Obrázek č.16 Použité sféry, štítky, plochy (Autor práce)

Umísťování štítků a sfér bylo voleno tak, aby byly cíle dobře vidět vždy z více skenů. V případě štítků tak, aby byly na skenech vidět co nejvíce přímo. Snahou také bylo, aby byly všechny cíle umísťovány v různých výškách a vzdálenostech od skeneru. Pokud to prostor dovolí, nedoporučuje se umísťovat cíle symetricky, jejich konfigurace pak významně ovlivňuje výslednou přesnost.

Je možné skenovat v RGB spektru. V nastavení přístroje je proto nutné povolit pořizování fotografií (které proběhne ihned po ukončení skenování).

Skenování zmíněného objektu jsem provedla během jednoho dne (přibližně 5-6 hodin). Získala jsem díky tomu 35 skenů (doba pořizení jednoho skenu trvá přibližně 10 minut).

7.3 REGISTRACE CÍLŮ (TARGET REGISTRATION)

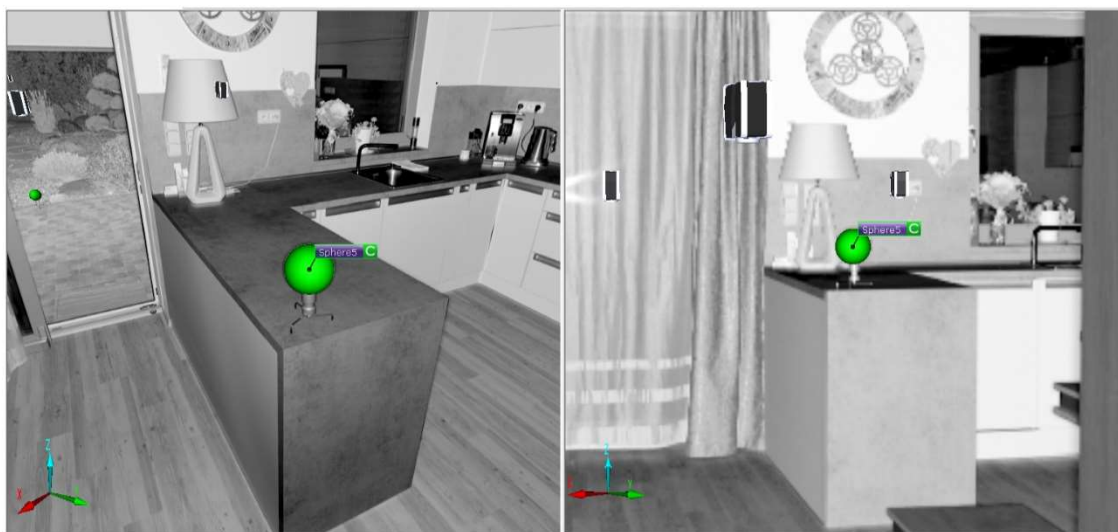
Prvním krokem bylo spojit všechny skeny do jednoho celku, výsledného mračna bodů. Pro tento účel jsem vybrala platformu Faro Scene v.2019 a v.2020 vyžadující definování objektů, vyskytujících se ve skenované oblasti nebo jejím blízkém okolí na dvou a více skenech zároveň.

Skeny pořízené přístrojem Faro s příponou *.fls naimportujeme do prostředí programu. U každého skenu se ukazuje jeho stav (zda je načtený nebo ne). Pro jejich zobrazení zvolíme kliknutím pravého tlačítka a volbou *Load*, následně otevřeme v pohledu *Quick View*. Při práci s větším počtem načtených skenů se výrazně snižuje rychlost načítání a samotné práce v programu. U verze Faro Scene 2020 při zahlcení program sám nabízí *Unload* vybraných nevyužívaných skenů. Při práci se mi velmi osvědčilo rozdělit skeny na 2 skupiny podle pater, spojit je a poté napojit na sebe.

V programu FARO SCENE je možné manuálně či automaticky detekovat cíle nutné pro spojení skenů. Mohou mezi ně patřit právě použité šachovnicové štitky (checkerboards), značky (markers) nebo právě referenční koule/sféry (spheres). Speciální možností je využití ploch/rovin proložených body v mračnu. Ty se dají aplikovat na všechny ploché povrchy v oblasti skenování (stěny, stropy,...). Je však vhodné je využívat jen zřídka, a vždy v kombinaci s jinými cíli.

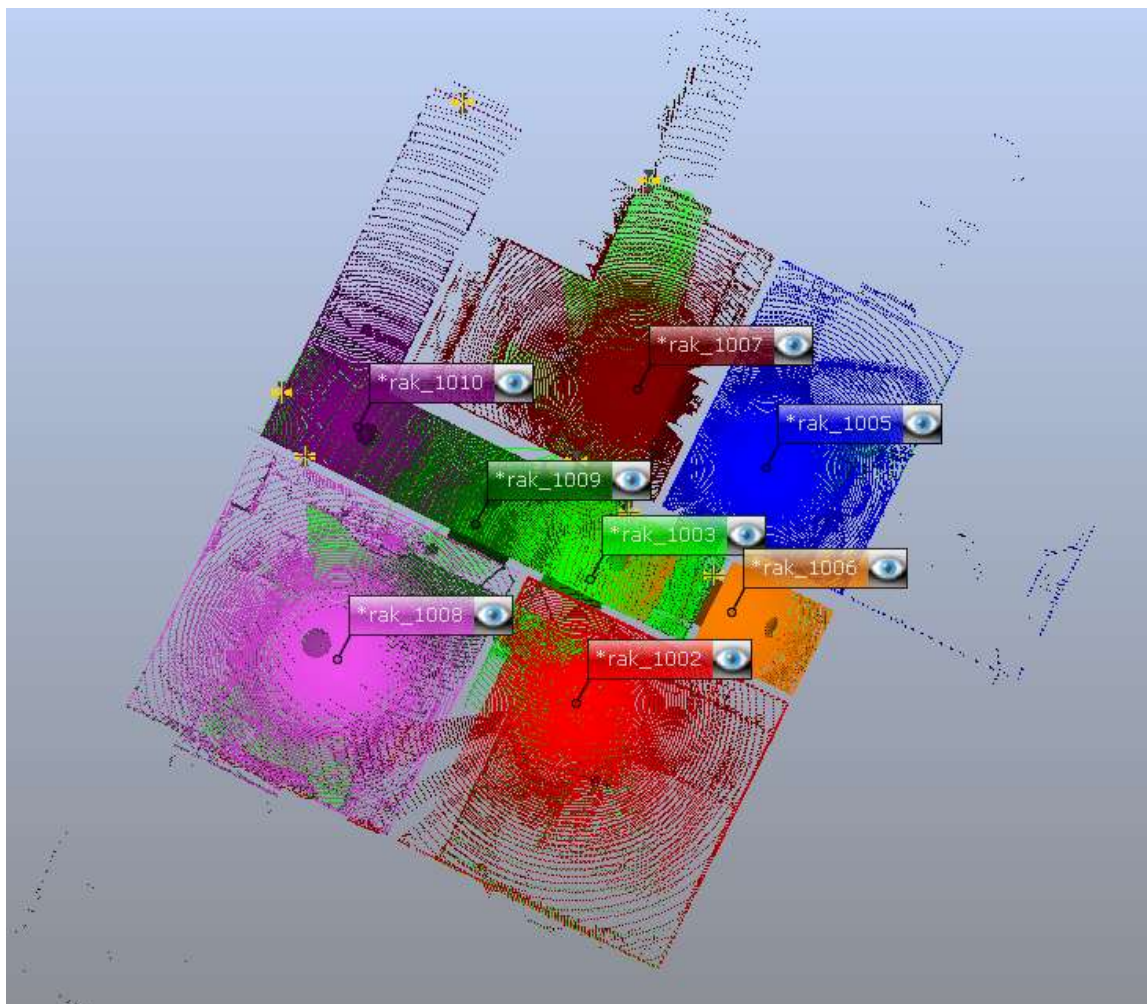
V době skenování jsem v celém prostoru využívala právě šachovnicové štitky nalepené na zdi a sféry. Při registraci jsem však byla nucena v pár případech využít i spojení na základě plochy a přirozených bodů.

Speciálním způsobem spojení skenů je funkce Cloud to cloud. Ta vzhledem ke vzájemné podobnosti dvou skenů dokáže skeny napasovat na sebe. Důležitý je v tomto případě dostatečný překryt skenů. Vhodné využití vidím u pořizování více skenů v rámci jedné větší místnosti (např. haly).



Obrázek č.17 Ukázka manuální registrace sféry na dvou různých skenech (Autor práce)

Při spojování skenů do dílčích celků se skeny shlukují do skupin (*Clusters*). Při spojování skenů se nám ve struktuře vytvoří *Scan Manager*, ten nám při spojování ukazuje spolehlivost spojení skenů na základě vybraných vlíčovacích bodů. V jejich rámci je možné v průběhu kontrolovat reporty posuzující vnitřní přesnosti spojených dvojic skenů.



Obrázek č.18 Ukázka barevně odlišených naorientovaných skenů interiéru 2.NP rodinného domu

Cíle slouží primárně ke spojování jednotlivých skenů, ale mohou být také použity i k připojení do souřadnicového systému, pokud známe jejich skutečné souřadnice. Souřadnice našeho systému přiřadíme správným vlíčovacím bodům a program mračno naorientuje. Pro tuto prostorovou transformaci jsou potřeba minimálně 3 body se souřadnicemi v JTSK.

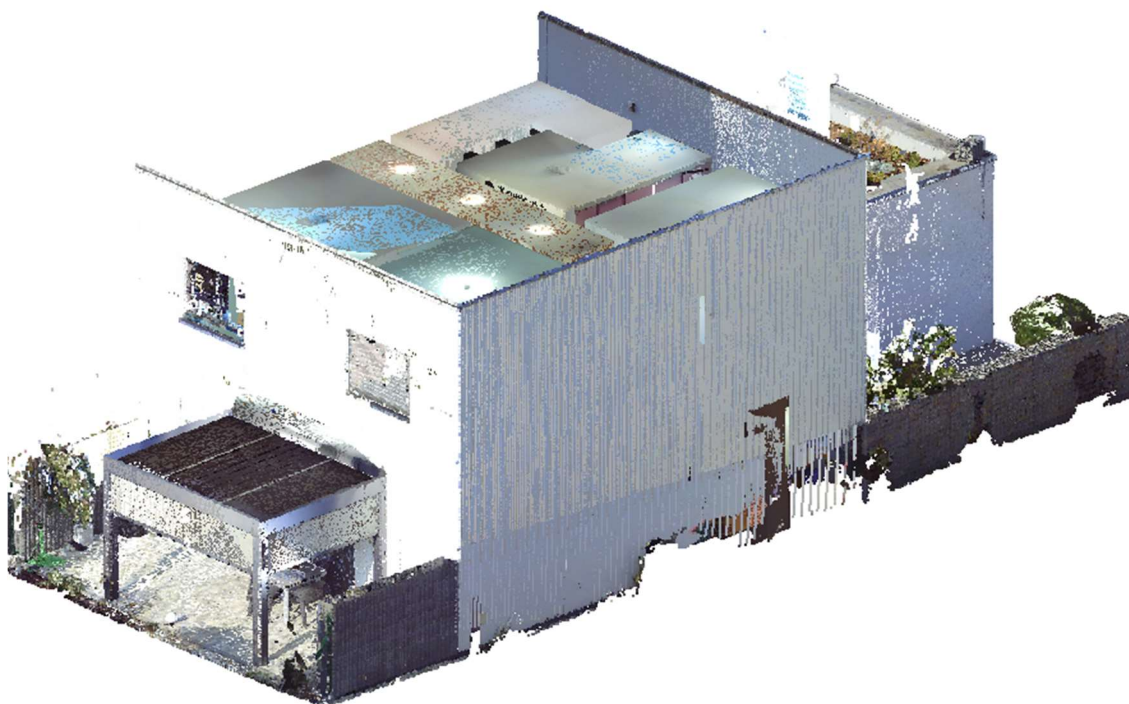
Já pro tento účel využila zaměřené souřadnice 6 vlíčovacích štítků pomocí totální stanice. Čísla bodů, a jejich souřadnice Y,X se zápornými znaménky jsem načetla ve formátu *.CSV. Zobrazí se v seznamu pod skeny v záložce *References*. Čísla bodů se musí shodovat s názvy cílů, které byly použity pro spojování. Vyvoláním *Target based* registrace se mračno umístí do souřadného systému.

7.4 MRAČNO BODŮ A PRÁCE S NÍM

Výsledkem spojení je tzv. mračno bodů reprezentující stav objektu v době skenování složené z jednotlivých bodů. Každému bodu může být navíc kromě jeho prostorových souřadnic X, Y a Z přiřazena informace o barvě materiálu nebo intenzitě odrazu.

Po registraci/spojení skenů do jednoho celku je možné mračno bodů v programu Scene ještě dále upravovat. Například mračno ořezat nebo očistit (ořezáváním polygony nebo pomocí filtru Moving Objects). Tato úprava je vhodná pro odstraňování nechtěných odrazů od lesklých povrchů a tzv. šumů.

Provedla jsem tedy obarvení mračna. Pro samotné modelování nemá příliš velký důvod, ale může dopomoci při úpravě textur objektů, aby vypadaly reálněji. Funkce je dostupná po kliknutí pravým tlačítkem na načtený sken s výběrem možnosti Operations → Color/Pictures → Colorize Scan. Po obarvení jsem skeny před exportem ještě ořezala, abych nemusela pracovat se zbytečně velkými daty.



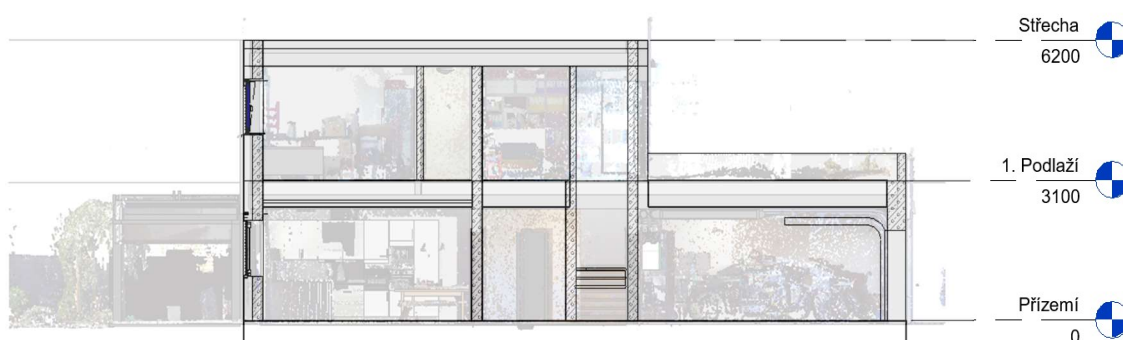
Obrázek č.19 Ukázka obarveného mračna rodinného domu

Dále záleží, v jakém formátu chceme s mračnem pracovat. Můžeme jej exportovat do různých formátů (*.e57, *.las, ...) v celku nebo po jednotlivých skenech. Exportovala jsem jednotlivé skeny do formátu *.las. Pro kontrolu jsem je načetla do programu ReCap od Autodesku a odtud vyexportovala do *.rcp (jeden z formátů, který Revit přímo podporuje).

8 TVORBA MODELU BUDOVY

Tato kapitola se zabývá samotnou prací na tvorbě modelu budovy v prostředí programu Revit. Při vytvoření projektu jsem zvolila defaultní Stavební šablonu.

V první fázi samotného modelování je potřeba v projektu nastavit výšky jednotlivých podlaží. Pro tento účel je třeba rozlišovat tzv. světlou a konstrukční výšku místnosti. Světlou výškou rozumíme výšku volného prostoru od horní části podlahy po spodní část stropu nebo jeho podhledu. Konstrukční výška místnosti je světlá výška místnosti včetně tloušťky konstrukce stropu a podlahy, která se nachází nad ní. Tu jsem použila pro určení výšek jednotlivých podlaží domu. Veškeré změny jsem průběžně porovnávala s mračnem připojeným v modelu.



Obrázek č.20 Nastavení výšek podlaží pomocí konstrukční výšky místnosti

K samotné tvorbě modelu z mračna bodů již existující budovy existuje více možných přístupů. Jednou z možností je metoda využívající v programu Revit nadstavbu Scan to BIM. Druhá možnost je modelování nad 2D výkresem podlaží. Rozhodla jsem se vyzkoušet obě varianty pro posouzení vhodnosti modelování. Spodní patro domu jsem modelovala s využitím Scan to BIM, protože se zde nacházejí viditelné trubky.



Obrázek č.21 Ukázka mračna bodů s modelovanými stěnami

Metodu Scan to BIM shledávám vhodnou spíše pro prostorově složitější stavební objekty s nepravoúhlými stěnami anebo pro tvorbu TZB prvků v místnostech (zvláště pro potrubí s různými sklony a směry a zjištění jejich průměrů).

V horním patře, kde šlo spíše o modelování stěn s kladením důrazu na jejich pravoúhlost, jsem využívala modelování podle předem připraveného půdorysu. Ten jsem vytvořila v prostředí programu Microstation, kde jsem načtené mračno bodů ve formátu *.POD zobrazila v pohledu v řezu shora a vektorizovala jsem jasně viditelné stěny. Protože žádná budova není nikdy přesně pravoúhlá a stěny nejsou nikdy dokonale svislé, je třeba jejich konstrukce pro účely modelování a tvorby dokumentace vhodně upravovat.

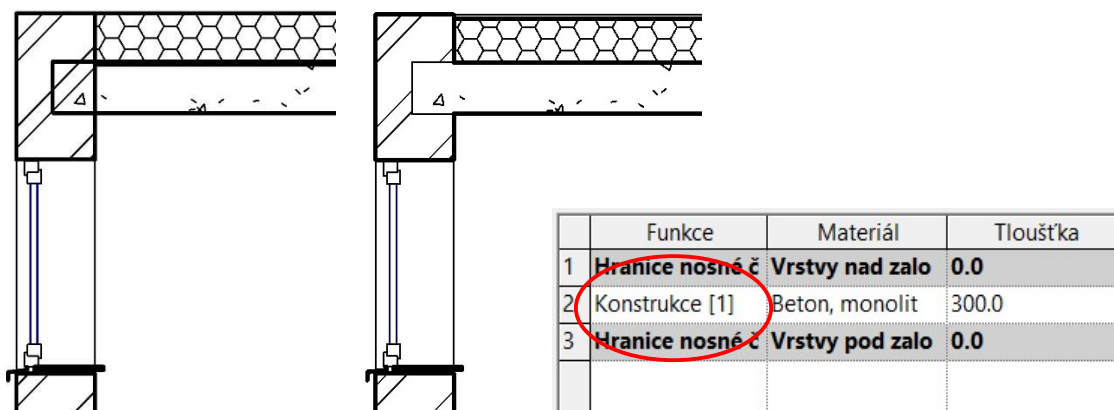
Výsledný zjednodušený půdorys konstrukčních prvků jsem importovala ve formátu *.DGN (výkresy tvořené v Microstationu) do projektu v Revitu. Další podporované formáty pro import jsou soubory ve formátech *.DWG (AutoCAD), *.DXF (CAD systémy), *.SAT (ACIS SAT) a *.SKP (SketchUp). Při importu je možné jednotky zdrojového výkresu automaticky rozpoznat nebo je přímo vybrat ze seznamu. Pokud se půdorysy jednotlivých podlaží, právě jako v mém případě, liší, je možné naimportovat více různých výkresů do příslušných podlaží a pracovat postupně s každým zvlášť.

8.1 KONSTRUKČNÍ PRVKY

Mezi konstrukční prvky budovy patří mimo jiné stěny, podlahy, podhledy, schodiště a podobné. Tvorba stěn nad půdorysem je velmi intuitivní. Před nebo po vložení prvku do výkresu je možné nastavit jejich vlastnosti (funkce, materiál, tloušťka jednotlivých částí dané konstrukce, textury). Krom informativního charakteru, který je v BIM právě největším přínosem, se tak ovlivňuje i vzhled samotného modelu a jeho zobrazení v jednotlivých řezech a pohledech.

Ze samotného skenování je možné získat pouze informace o tloušťce stěn (ovlivněná spojením skenů, výsledným mračnem bodů), není tak možné zjistit jejich skladbu (poměr tloušťky zdiva a izolace). Od majitele domu byla zapůjčena technická dokumentace k budově. Po ověření skutečných rozměrů budovy (viz kapitola Ověření modelu) jsem však zjistila, že dokumentace je vázána k typově podobnému domu, avšak s rozdílnými rozměry a řešením interiéru domu). Z této dokumentace jsem při tvorbě skladby obvodového zdiva vycházela z tloušťky stěny, která by měla být podle tabulek výrobce shodná. Tloušťku izolace jsem do modelu vnesla jako zbytek z rozdílu z hodnoty získané z mračna a tloušťky uváděné výrobcem.

Pro správné zobrazení konstrukčních prvků v řezech je třeba v nastavení typu prvků také nastavit funkci vrstvy. Velmi přínosná je při úpravě zobrazení v pohledech vybraných řezů a pohledů nejen u křížení stěn stropních a podlahových konstrukcí. U funkce vrstvy je možné vybrat číslo priority (od 1 do 5), kde menší číslo označuje vyšší prioritu.



Obrázek č.22 Vliv změny funkce vrstvy

Vrstvy s vyšší prioritou přebíjí graficky zobrazení vrstvy s vyšším číslem. Vrstvy, které mají nastavenou stejnou funkci vrstvy (i totožný materiál), se v pohledu řezu spojí. Mezi vrstvami se stejnou funkcí vrstvy, ale rozdílným materiálem, se objeví rozdělovací čára.

Pro umožnění správného zobrazení jednotlivých konstrukcí v překrytu je třeba tyto konstrukční prvky spojit.

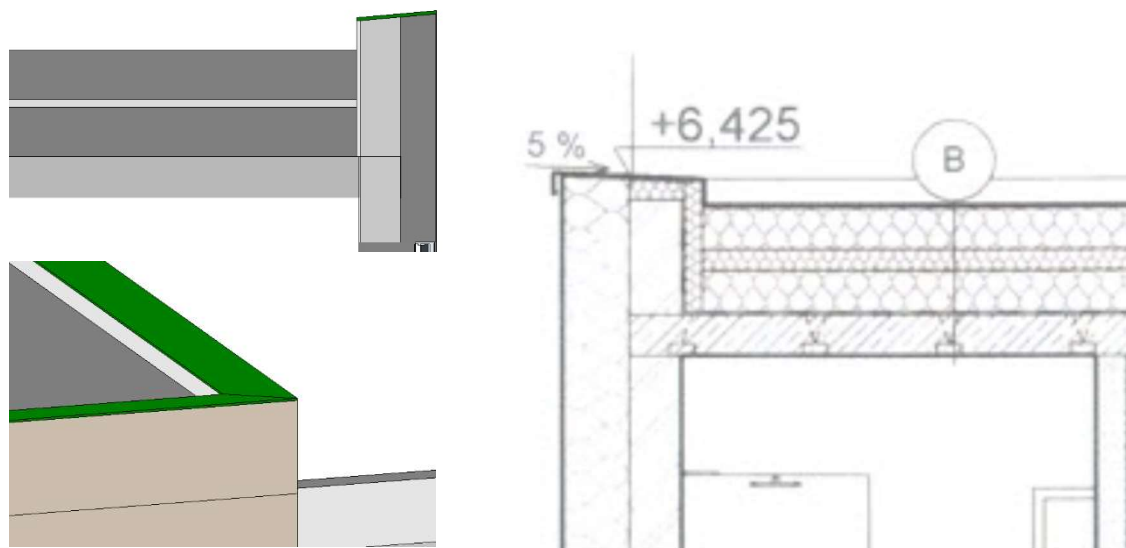
Co se týče výše zmíněné izolace, v tomto případě rozlišujeme izolaci vertikální a horizontální. Vertikální izolaci jsem do modelu vnesla právě ve skladbě komponenty Stěna na kartě Architektura. Horizontální izolaci nad stropní konstrukcí jsem vkládala pomocí nástroje Podlaha, v jehož vlastnostech je možné podobně jako u stěn, upravovat skladbu.

Podlaha, je v podstatě deska o zvolené tloušťce oddělující od sebe dvě podlaží. Můžeme jí definovat skladbu, podobně jako u stěn. Vkládáme ji v půdorysném pohledu podlaží, u kterého bude tvořit spodní desku, načrtnutím její hranice anebo její obvod můžeme definovat pomocí již vložených zdí. Poté je možné v ní vytvořit otvory v případě schodišť. Její horní plochu jsem zarovнала na čáru osnovy. Reálnou tloušťku není ze skenování opět určit.

Podhled, může a nemusí být v Revitu, nutně nosnou konstrukcí. Zásadní roli hraje pro pozdější umístování osvětlení, které je vázáno na hostitele.

Nejproblematictější částí tvorby konstrukčních prvků, byla tvorba střechy s atikou. Tu jsem složila z částí obvodových stěn se skladbou izolace a samotného zdiva. Vodorovnou část izolace jsem tvořila funkcí podlaha. A po celé horní části vystouplých stěn jsem natáhla vrstvu tvořenou funkcí Střecha se sklonem 5%.

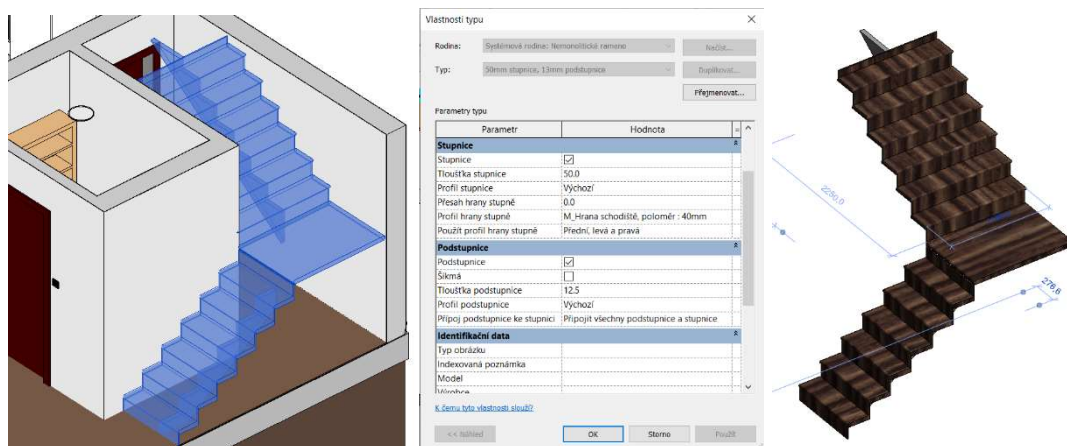
Reálný vzhled střechy a její skladby nebylo možné ověřit, pro účely tvorby modelu jsem proto vycházela z již zmíněné dokumentace.



Obrázek č.23 Ukázka z tvorby střechy a atiky domu podle zapůjčené dokumentace

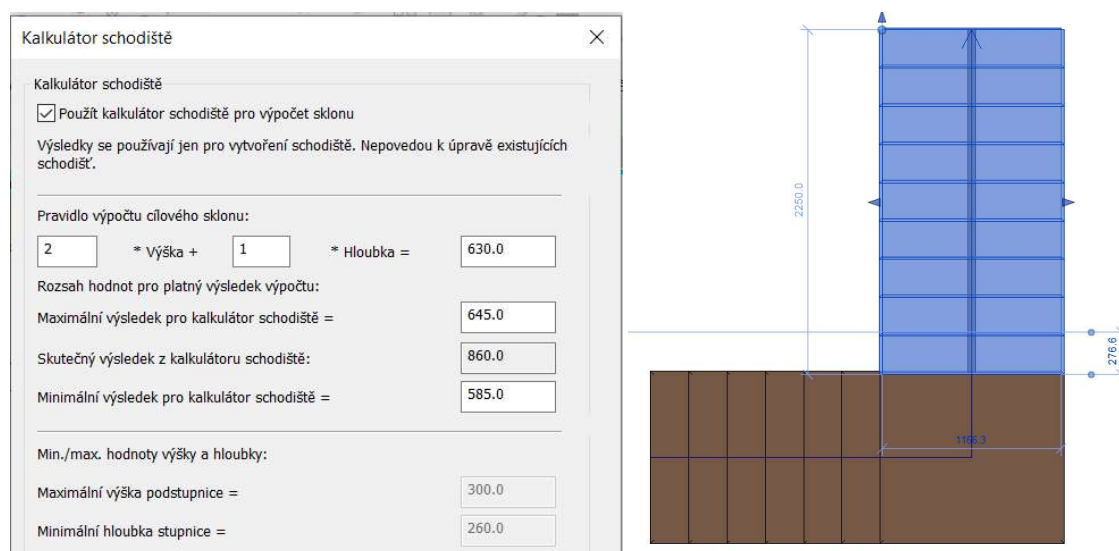
8.2 SCHODIŠTĚ

Propojení obou pater domu zajišťuje schodiště tvaru L s mezipodestou. Máme pro vytvoření schodiště možnosti standardní vložení pomocí ramen a podesty vyvoláním nástroje Schodiště z komponent. Vkládání probíhá v pohledu půdorysu.



Obrázek č.24 Ukázka tvorby schodiště v programu Revit

Schodiště má ve vlastnostech typu také možnost nastavení maximální výšky (můžeme nechat připojení k dalšímu podlaží, ale je problematické upravovat výšky jednotlivých stupňů anebo můžeme pracovat bez připojení k podlaží nastavením výšky jednotlivých stupňů) a minimální šířky stupně definující jejich sklon. Všechny ostatní parametry se přepočítávají. Tento přepočet se využije pouze u schodišť vkládaných přímo vymezením ramen.



Obrázek č.25 Kalkulátor schodiště a úprava jednotlivých částí schodiště

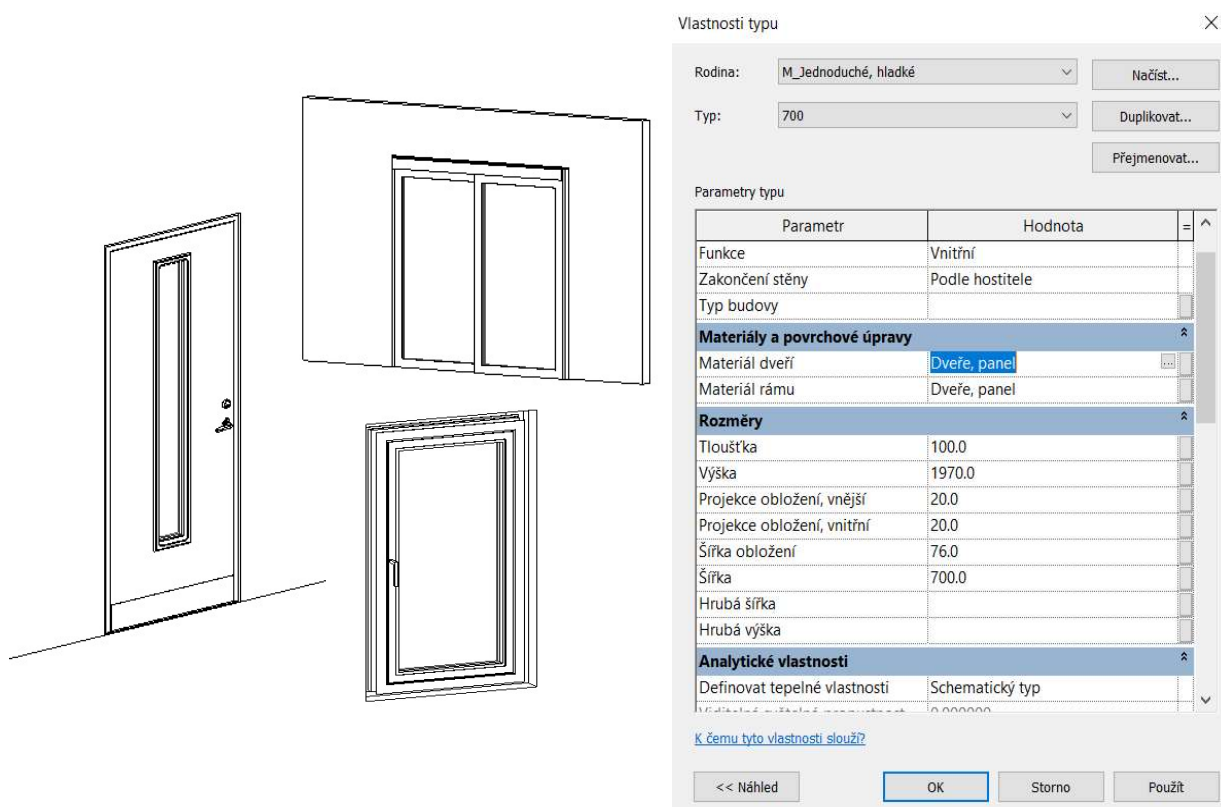
Schodiště se dá dále v určitých mezích upravovat (měnit šířka a výška a počty stupňů. Ne vždy však tato možnost stačí. Při speciálních úpravách (rozdílné šířky stupňů) je jednodušší upravit schodiště v módu úpravy náčrtu.

8.3 KOMPONENTY OKEN A DVEŘÍ

Tyto komponenty můžeme volně stáhnout z dostupných knihoven na internetu, spolu s tím je upravit nebo vytvořit vlastní.

Okna a dveře vkládáme do výkresu stejnojmennou funkcí na kartě Architektura. Podmínkou pro jejich vložení, je mít vytvořeného hostitele. Tím může být stěna nebo v případě střešních oken střecha (platí pro specifické rodiny oken). Při vložení se pro daný prvek automaticky sám vytvoří otvor. Po vložení je možné měnit jejich orientaci výběrem dvojité šipky, případně změna levotočivých dveří na pravotočivé a naopak.

Dveře a okna bývají v modelech tvořených v Revitu většinou vkládána i včetně zárubní, kování a prahů. Někteří výrobci však ve svých rodinách, volně stažitelných z internetu, uvádějí i tyto komponenty bez kování, čímž vzniká velká spousta možných kombinací těchto částí. Rozměry komponent je možné upravovat podle reálných rozměrů. Dveře obsahují oproti ostatním komponentám velké množství parametrů, kterými se dají ve Vlastnostech typu definovat (právě jejich rozměry a rozměry dílčích částí, požadavky na požární odolnost, materiály, typy kování, a spousta dalších).



Obrázek č.26 Vlastnosti typu komponent dveří a oken

8.4 ZAŘIZOVACÍ PŘEDMĚTY

Zařizovacími předměty rozumíme veškeré příslušenství sloužící k úkonům při údržbě čistoty (ať budovy nebo u osobní hygieny) u konkrétní obytné či provozní budovy související s využíváním vody. Do takového předmětu je přiváděna čistá voda (pitná či užitková) a z něj odchází voda odpadní.

Zařizovací předměty z některých rodin konkrétních výrobců mají ve své struktuře přímo předvoleny vstupy a vývody pro vodovodní potrubí a usnadňují tak práci při případné tvorbě potrubí vedoucí skrze konstrukční prvky (stěny, podlahy, apod.) informačního modelu. V mém případě nebylo možné tyto informace reálně do modelu zanést, protože informace o potrubí ve stěnách nebylo možné zjistit (nebyla k dispozici projektová dokumentace s tímto řešením).

Tyto objekty se proto umísťují na tzv. pracovní roviny, které je před vložením třeba určit výběrem možnosti v panelu umístění. Po vložení do výkresu je možné komponenty posouvat či otáčet v daném pohledu.

Konkrétně v mém případě jsem využívala zařizovací předměty jako kuchyňský dřez, sprchový kout, vana, toalety, koupelnová umyvadla

8.5 TVORBA VLASTNÍCH RODIN

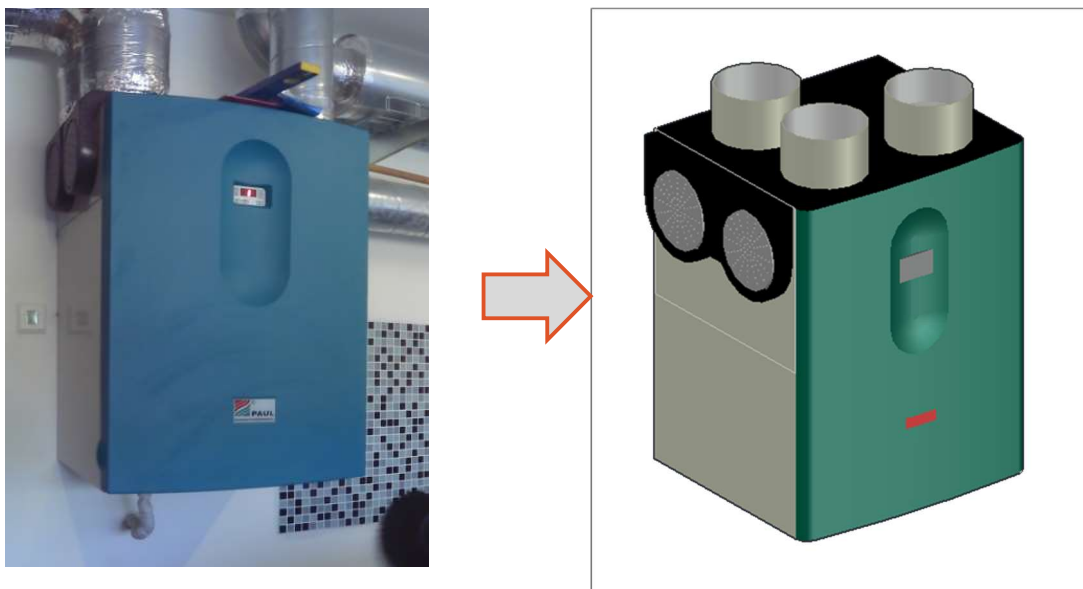
Často se uživatelé CAD/BIM ubírají k vlastní tvorbě nebo úpravě již existujících rodin prvků, aby dosáhly co největší úrovně detailu modelu a co nejvíce identického digitálního dvojčete budovy. Jedná se o tzv. načitatelné rodiny. Jsou často ukládány v externích souborech s příponou .rfa a pro jejich použití v projektu se musí načíst.

Pro samotnou tvorbu rodiny je potřeba si ujasnit několik věcí, a to:

- Bude se jednat o načitatelnou rodinu nebo tzv. rodinu na místě, bude potřeba měnit rozměry rodiny? (načitatelná rodina může být např. polička, u které mohu měnit při vložení její rozměry a rodina na místě má předdefinované konkrétní rozměry, např. konkrétní typ osvětlení, které se vyrábí ve třech provedeních o délkách 30,40 a 50 cm).
- Jak má být rodina zobrazena v různých pohledech (viditelnost).
- Vyžaduje rodina hostitele? Je potřeba nějaká komponenta, ke které se rodina připojuje? Například okno na stěně. Světlo na podhledu.
- Jakou požadují úroveň detailu?
- Kde bude definiční bod této rodiny

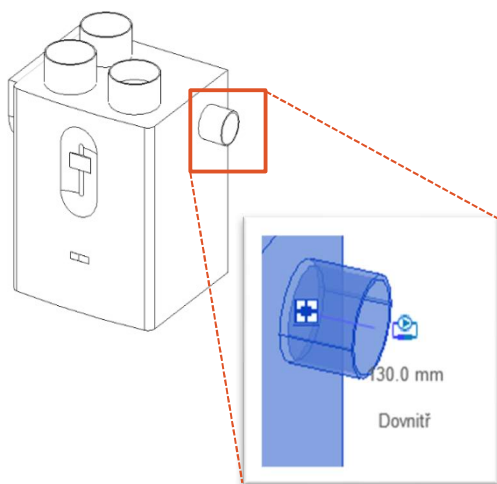
Výběrem příslušné šablony se automaticky založí nový soubor. Šablona v sobě obsahuje základní informace nutné při tvorbě odpovídající konkrétnímu řešení. Možnosti na výběr jsou šablony stěnové, stropní, podlahové, střešní, samostatné, adaptivní, liniové,

V domě se nacházelo několik objektů, které byly příliš rozdílné od modelů, které bylo možné bezplatně najít v dostupných knihovnách BIM objektů. Jedním z příkladů může být například rekuperační jednotka umístěná v garáži v přízemí. Výrobce tohoto typu byla původně švédská firma Paul Heat Recovery, ale po čase přešli na výrobu jiného typu, pozbývalo proto smyslu v éře BIM a 3D modelů tvořit jeho model.



Obrázek č.27 Tvorba rekuperační jednotky podle reálné předlohy (Autor práce)

Je možné vytvářet si i vlastní modely například v CAD softwarech (ve formátu .dwg) a následně je naimportovat do Revitu a uložit jako šablonu pro rodinu. I nadále se dá model upravovat. Tento způsob jsem zvolila pro tvorbu některých prvků podle jejich skutečných rozměrů a řešení. Další možností je tvorba přímo v prostředí Revitu. Při zakládání výkresu je dobré vybrat některou z předvolených šablon pro rodiny. Při výběru šablony je pak možné komponentu doplnit např. spojkami, vývody trubek apod., což usnadňuje následný proces modelování. Každá spojka ve svých vlastnostech může být doplněna průměry, velikostmi průtoků, naznačením směru toků a dalšími parametry.

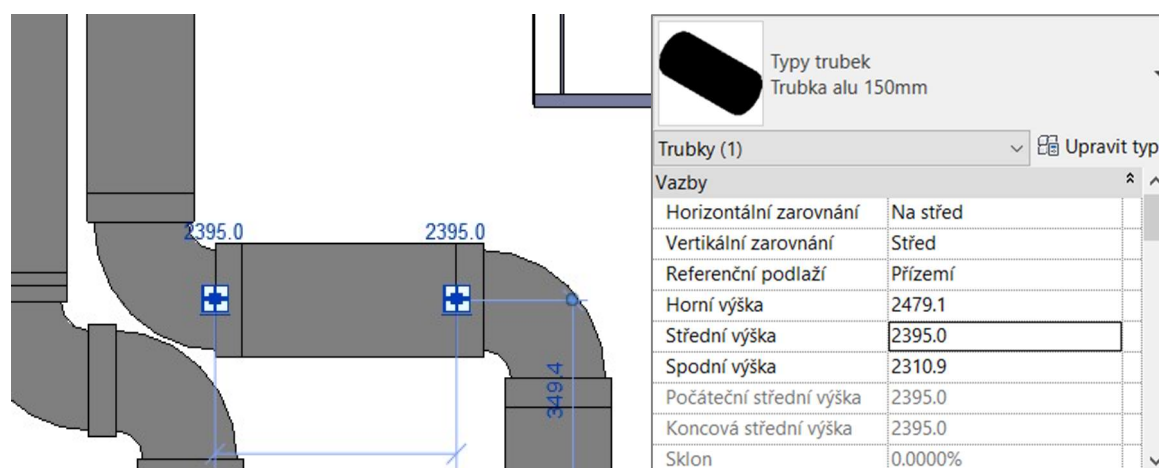


Obrázek č.28 Ukázka zobrazení vytvořené komponenty v programu Revit

8.6 KOMPONENTA TRUBKY

Na předchozí kapitulu tvorby rekuperační jednotky navazuje tvorba okolních trubek vedoucích podél stěn v garáži. Nemohu s jistotou určit, kudy trubky skrze zdi a stropy přesně vedou, proto jsem v modelu řešila pouze jejich viditelné části.

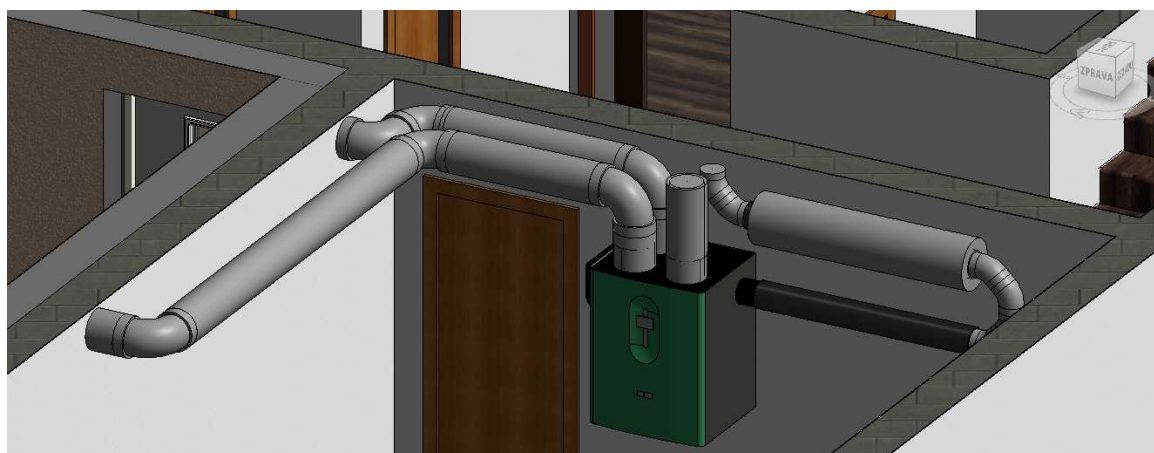
Pro jejich tvorbu bylo třeba znát jejich průměr, trasu a polohu. Jednou z možností je oměřit tyto rozměry a na základě měření prvky vytvořit. Druhá, snazší možnost je práce s mračnem bodů s využitím pluginu Scan to BIM umožňující práci s řezy mračna.



Obrázek č.29 Tvorba trubek a jejich vlastnosti

Při tvorbě potrubních systémů využívám v Revitu systémové rodiny na kartě Domovní instance a trubky. Tato situace není příliš složitá, trubky vedou pouze vertikálním a horizontálním směrem bez nějakého spádu, vždy zalomené do pravého úhlu. Princip vkládání je ale stále stejný. Vložení provádím v pohledu shora a v pohledech z boků kontroluji jejich umístění. V případě sklonu potrubí je možné vkládat s nastavením konkrétního spádu. Jednotlivé části v průběhu navíc sami nabízejí automatické napojení.

Výška trubky se dá definovat pomocí spodní, střední či horní výšky. Pokud je zadán průměr trubky a libovolná z těchto výšek, ostatní se automaticky přepočítají.



Obrázek č.30 Vytvořené trubky v garáži

8.7 SOUŘADNICE MODELU

Důležitým bodem tvorby modelu je práce ve správných souřadnicích. V rámci modelování v Revitu je přístup práce se souřadnicemi trochu odlišný od běžných CAD systémů. V prostředí programu pracujeme s vnitřním souřadným systémem pro všechny prvky v rámci jednoho modelu.

Mračno bodů jsem při načtení umístila do obecné polohy, aby třeba i výsledný model, který jsem na jeho základě vytvořila, umístit do JTSK.

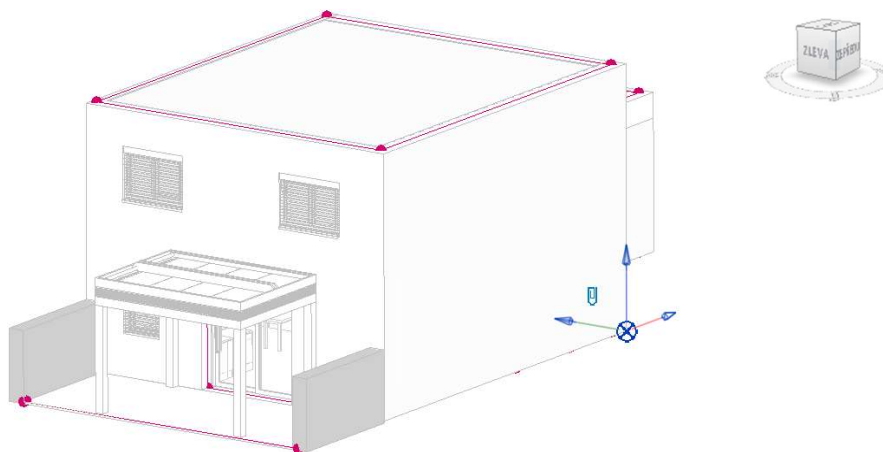
K tomu slouží například sdílení souřadnic. V případě, že máme z geodetického zaměření souřadnice budovy v konkrétním systému (v mém případě souřadnice rohů domu v JTSK) v souboru *.DWG. Mohu tyto souřadnice svému modelu po importu sdílet. Budu znát polohu budovy v tomto systému, jeho natočení vůči severu, ale zároveň mohu stále v modelu pracovat v projektových souřadnicích. Výběrem nástroje Souřadnice bodu na kartě poznámky je tak možné kontrolovat souřadnice vybraných bodů.

Každý výkres má k dispozici 3 různé definiční body. Základní bod projektu, Bod zaměření a Vnitřní počátek (zobrazuje systém projektových souřadnic, do verze 2020 nebyl v projektech viditelný).



Obrázek č.31 Základní bod projektu, bod zaměření a vnitřní počátek

K umístění modelu do JTSK jsem na konci modelování využila právě sdílení souřadnic. Do *.DGN souboru jsem vložila zaměřené rohy domu jako body se souřadnicemi X, Y, Z. Tento soubor jsem připojila do prázdného hostitelského souboru v Revitu. V možnostech vlastností výkresu jsem sdílela souřadnice. Tím se globální souřadnicový systém (GSS) připojeného *.DGN sdílel jako souřadnicový systém pro prázdný projekt. Dále jsem do projektu připojila projekt s modelem budovy (projekt *.RVT) s možností volby „střed na střed“. Budovu jsem umístila na správné místo podle zaměření (rohem domu, který jsem definovala jako Základní bod projektu) a možností Publikovat souřadnice jsem připojenému *.RVT souboru přiřadila stejné souřadnice jako má hostitelský soubor.



Obrázek č.32 Ukázka zobrazení základního bodu v projektu

8.8 MODELOVÁNÍ OKOLÍ DOMU

Pro doladění okolí domu byla zásadní tvorba terénu. K jeho modelování je možné přistoupit mnoha způsoby. A to importovat měřené nebo skenované body terénu do výkresu a vygenerovat nad nimi terén. Zadávat terén přímo výškovými body v Revitu anebo na základě souboru s vygenerovanými vrstevnicemi z jiného programu. Všechny tyto možnosti najdeme v nástroji Povrch terénu.

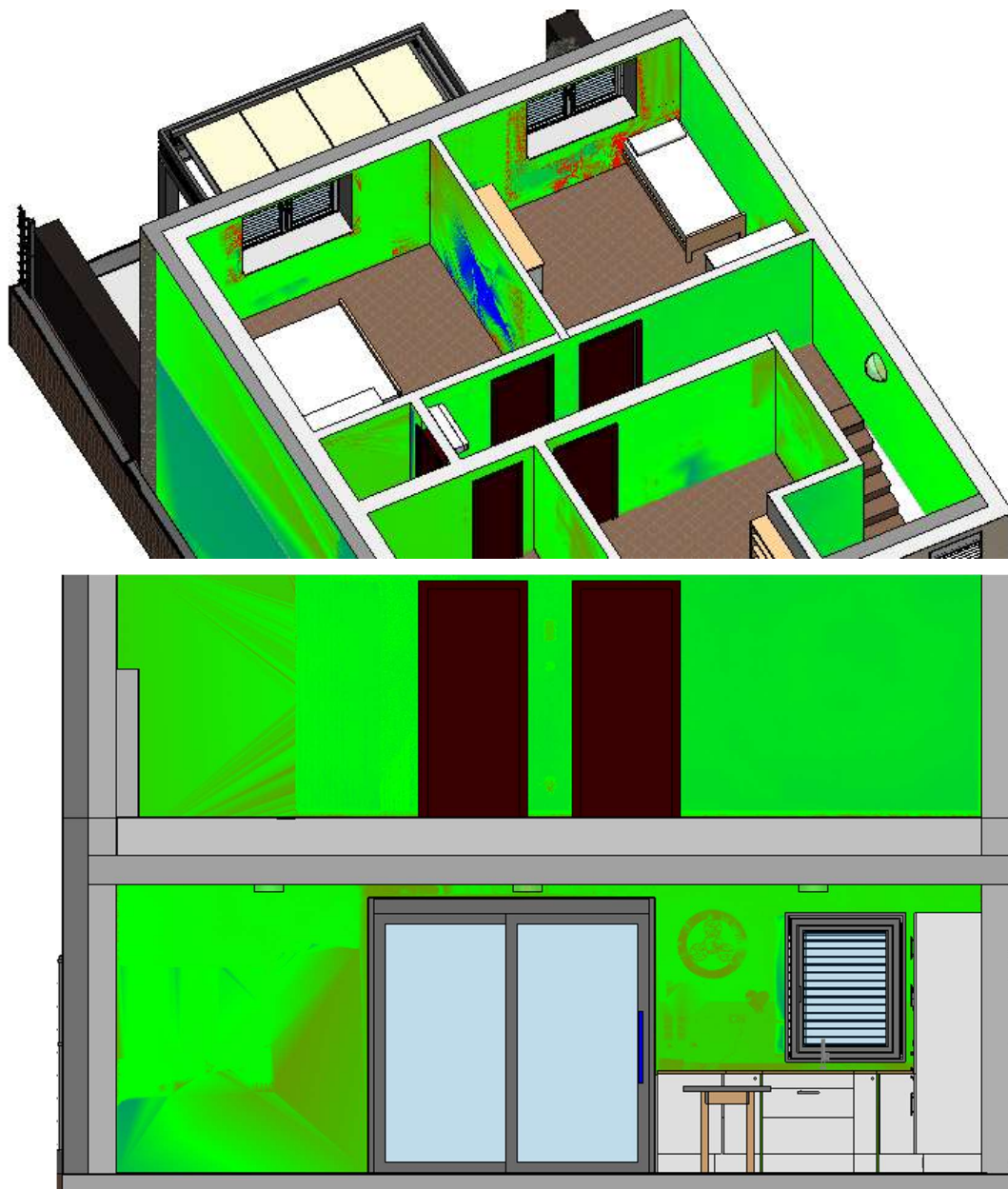
Dalšími prvky vkládaných do modelu pro doladění okolí domu byly kameny, stromy a keře a venkovní osvětlení. Kameny jsem vytvořila v programu AutoCAD, aby přibližně odpovídala jejich velikost. Ostatní komponenty jsem použila z volně stažitelných rodin z webových knihoven.



Obrázek č. 33 Pohled na 3D model domu

9 PŘESNOST MRAČNA A MODELU

Přesnost výsledného modelu vychází z přesnosti mračna, na jehož základě byl tvořen. Nadstavba Autodesk Point Layout pro Revit umožňuje využitím nástroje Cloud Analysis porovnat mračno (načtené např. ve formátu *.RCP) s vybranými částmi modelu (výběrem konkrétních prvků v modelu, v mém případě stěn) a barevně zabarvit plochy podle velikostí rozdílů.



Obrázek č.34 Ukázka srovnání mračna a modelu

Z obrázků je podle zeleného zabarvení stěn jasně patrné, že mračno v těchto místech na model sedí. Červeně a modře zabarvené lokální extrémy na stěnách, zobrazují místa, ve kterých se mračno od modelu odchyluje v odchylkách větších jak 5 cm. Ve všech těchto případech se jedná o místa, kde se při skenování nacházely osobní věci a vybavení majitele

(tedy nábytek zakrývající stěnu, závěsy u oken, krabice, apod.). Pro dosažení lepšího výsledku srovnání by bylo patrně vhodnější mračno očistit od těchto nechtěných vlivů.

Vnitřní přesnost mračna je však závislá na přesnosti spojení jednotlivých skenů, výběru a označení vlíčovacích bodů při spojování skenů. Mračno jsem se proto rozhodla porovnat s geodetickým zaměřením objektu pomocí totální stanice. Pro účel srovnání jsem vybrala jednoznačně určitelné body v mračnu (převážně se jednalo o rohy domu a rohy otvorů oken). Souřadnice těchto bodů získaných z mračna a z měření jsou zobrazené v tabulce níže. K tomuto testování bylo použito celkem 18 bodů. Rozdíly v poloze se pohybovaly do 4 cm. Kompletní tabulka je součástí elektronických příloh (Příloha č.4_b).

Tabulka č.5 Ukázka souřadnicových rozdílů bodů získaných z laserového skenování a terestrického měření

Číslo bodu	Souřadnice z mračna		Souřadnice z měření		ΔY [cm]	ΔX [cm]
	Y	X	Y	X		
1	594158,479	1167040,701	594158,450	1167040,700	2,9	0,1
102	594164,694	1167048,288	594164,713	1167048,292	1,9	0,4
25	594161,256	1167038,451	594161,256	1167038,441	0,0	1,0
209	594170,313	1167043,671	594170,292	1167043,652	2,1	1,9

...

Přesnost posuzuji pomocí střední souřadnicové směrodatné odchylky $\sigma_{Y,X}$ ze vzorce (3) vypočtené ze směrodatných odchylek jednotlivých souřadnic (2).

$$\sigma_Y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta Y_i)^2} = 2,03 \text{ cm}, \quad \sigma_X = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta X_i)^2} = 2,01 \text{ cm}, \quad (2)$$

kde ΔY , ΔX představují souřadnicové rozdíly souřadnic a odtud:

$$\sigma_{Y,X} = \sqrt{\frac{1}{2} (\sigma_Y^2 + \sigma_X^2)} = 2,03 \text{ cm}. \quad (3)$$

Nutno podotknout, že v mračnu je velmi těžké vybrat body přesně charakterizující porovnávané rohy (ne vždy laser padne přesně na roh). Výsledné mračno je navíc zatíženo chybou z rozlišovací schopnosti při výběru vlíčovacích terčíků při spojování skenů. Rozlišovací schopnost má také dopad na terestrické měření. To mohlo velmi ovlivnit výsledné souřadnicové rozdíly.

Přesnost modelu v interiéru jsem porovnávala podle měřených délek elektronickým dálkoměrem (Příloha č.4_a). Maximální rozdíl činil 1,9 cm. 70 % rozdílů délek nepřekročilo hodnotu 1 cm. Výsledný model byl vzhledem k využití metodě sběru dat vyhotoven v dostatečné přesnosti a byl využit jako podklad pro automatické generování dokumentace stavebního objektu. Půdorysy a řezy domu byly exportovány do formátu *.DGN a před tiskem upraveny v programu Microstation (dokumentace je součástí příloh).

10 ZÁVĚR

Cílem mé diplomové práce bylo poskytnout informace o využití BIM a přiučít se především využití tvorby informačního modelu na reálně existujícím objektu rodinného domu.

K vytvoření informačního modelu domu jsem využila metody laserového skenování pro sběr důležitých dat definujících geometrické rozměry jak stavebních prvků, tak vnitřních zařízení. Laserové skenování jsem zvolila pro jeho efektivitu z pohledu rychlosti a kvality sběru velkého množství dat. Pro ověření a zaměření nepřístupných míst jsem využila měření totální stanicí (převážně pro zaměření okolí domu) a elektronickým dálkoměrem (pro interiér). Pro umístění modelu do souřadnicového systému jsem využila zaměřené rohy domu pomocí vytvořené okolní měřické sítě připojené do JTSK pomocí GNSS aparatury.

Pro účely modelování budovy jsem vyzkoušela dvou různých přístupů. Spodní patro a exteriér jsem modelovala s využitím metody Scan to BIM. Horní patro pomocí modelování nad půdorysem, který jsem získala vektorizací mračna. Při zhodnocení tohoto postupu musím zkonstatovat, že samotný sběr dat není příliš náročný, ale větší využitelnost výhod metody vidím spíše při skenování prostorově nepravidelných objektů, potrubních systémů, průmyslových strojů a jinak složitých stavebních konstrukcí s historickým zdobením. K tomu se velmi hodí právě metoda Scan to BIM. Modelování nad půdorysem vidím hlavně využitelnější pro modelování pravoúhlých a nepříliš složitých prostor.

Mračno jsem porovnála s body získanými z terestrického měření. Výsledná přesnost je charakterizována směrodatnou souřadnicovou odchylkou s hodnotou 2 cm. Dále jsem výsledný model porovnála s mračnem, jež bylo podkladem pro jeho tvorbu. Rozdíly nosných stěn od skenů nepřekročily hodnotu 2 cm. Rozměry modelu jsem porovnála s kontrolními délkami měřenými elektronickým dálkoměrem. Většina rozdílů délek nepřekročila hodnotu 1 cm. Extrémním rozdílem byla hodnota 1,9 cm. Tato výsledná přesnost modelu mohla být ovlivněna především přesností podkladového mračna, tedy nepřesnostmi při spojování jednotlivých skenů.

Největší potenciál má BIM pro modelování větších budov, nicméně i tak pro mně bylo velmi přínosné vyzkoušet si tuto metodu na menším stavebním objektu. Prošla jsem si tak celým procesem, zvláště samotným modelováním, a zažila jsem si na vlastním projektu, jak je samotná tvorba modelu ve skutečnosti časově náročná.

Jako největší výhodu modelu vidím v možnosti automatického generování stavební dokumentace, tvorbě řezů a půdorysů, doplňujících pohledů a vizualizací, které budou vzhledem ke stavu stávající dokumentace přínosem i pro majitele tohoto objektu.

11 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] AQUATIS a.s. Vodní elektrárna Raška (Srbsko) zpracovaná metodikou BIM. [online]. 10.01.2020 [cit. 06.03.2020]. Dostupné z URL: <<https://www.aquatis.cz/aktuality.php?akid=119>>
- [2] BEESLEY, Caron. Preventing Flooding with BIM: Multidisciplinary Project Creates Room for a River. [online]. 06.01.2017 [cit. 06.03.2020]. Dostupné z URL: <<https://www.dlt.com/blog/2017/01/06/preventing-flooding-bim>>
- [3] BIMcorner. BIM salary report. [online]. [cit. 05.05.2020]. Dostupné z URL: <<https://bimcorner.com/download-salary-report/>>
- [4] BIMsite. Společné datové prostředí. [online]. [cit. 06.03.2020]. Dostupné z URL: <https://www.bimsite.cz/BIM-nastroje_cs.htm>
- [5] CADconsulting, Závod na výrobu pevných a kapalných lékových forem. [online]. [cit. 06.03.2020]. Dostupné z URL: <<https://www.cadconsulting.cz/portfolio/zavod-na-vyrobu-pevných-a-kapalných-lekových-forem/>>
- [6] CADconsulting, Abu Dhabi Airport. [online]. [cit. 06.03.2020]. Dostupné z URL: <<https://www.cadconsulting.cz/portfolio/abu-dhabi-airport/>>
- [7] CAD Studio s.r.o., Co je BIM – Informační model budovy. [online]. [cit.23.05.2020]. Dostupné z URL: <<https://www.bimfo.cz/Co-je-BIM.aspx>>
- [8] CAD Studio s.r.o. [online]. [cit. 06.03.2020]. Dostupné z URL: <<https://www.bimfo.cz/Prinosy-pro-spravce-budov.aspx>>
- [9] ČERNÝ, Martin. GIS analýzy v prostředí informačních modelů staveb. Brno, 2013. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. RNDr. Lubomil Pospíšil, CSc.
- [10] DEUTSCH, R. BIM and Integrated Design: Strategies for Architectural Practice. John Wiley & Sons, Inc., 2011. ISBN 978-04-7057-251-1.
- [11] DUSBABA, Michal. Návrh a realizace výroby konstrukce zubní náhrady. Brno. 2016. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.
- [12] Dynamic Test Center. Recording data concerning vehicles and accident sites with the latest technology. [online]. [cit. 06.03.2020]. Dostupné z URL: <<https://www.dtc-ag.ch/en/professional-services/dtc-accident-analysis/3d-scanning>>

- [13] EASTMAN, Charles, HENRION, Max. *GLIDE: A language for design information systems*. Institute of Physical Planning, School of Urban and Public Affairs and Department of Architecture, Carnegie-Mellon University, 1977.
- [14] EASTMAN, Charles, TEICHOLZ, P., SACKS, R. a LISTON, K. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. 2. John Wiley & Sons, Inc., 2011. ISBN 978-04-7054-137-1.
- [15] ENGELBART, D. *Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework*, 1962, SRI Summary Report.
- [16] ERHART, Daniel. Summit koncepce BIM – Praha 21.11.2019. [online]. 08.01.2020 [cit. 22.03.2020]. Dostupné z URL: <<https://www.bimfo.cz/Aktuality/SUMMIT-KONCEPCE-BIM-Praha-21-11-2019.aspx>>
- [17] ERHART, Daniel. SNIM a jeho budoucnost?. [online]. 27.06.2019 [cit. 22.03.2020]. Dostupné z URL: <<https://www.bimfo.cz/Aktuality/SNIM-a-jeho-budoucnost.aspx>>
- [18] FIALA, Radek. Laserové skenování – principy. [online]. 2011 [cit. 22.03.2020]. Dostupné z URL: <http://old.gis.zcu.cz/projekty/Geomatika_multimedialne/FGM/fgm-lls-principy.pdf>
- [19] HAVLÍČKOVÁ, Tereza. Životní cyklus budovy v informačním modelu z hlediska požární bezpečnosti. Praha 2019. Magisterská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra dřevěných a ocelových konstrukcí. Vedoucí práce prof. Ing. František Wald, CSc.
- [20] Infident solutions. Sales partnership for DentalCAD. [online]. 13.05.2019 [cit. 06.03.2020]. Dostupné z URL: <<https://www.infinidentsolutions.com/en/blog/press-sales-partnership-exocad.html>>
- [21] KOŠATKA, Tomáš. Využití BIM při realizaci stavby a kontrole kvality. Praha, 2019. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra technologie staveb. Vedoucí práce Ing. Michal Kovařík.
- [22] MAREŠOVÁ, Jana. Laserové skenovací systémy. SPŠS České Budějovice. Obor Geodézie a Katastr nemovitostí. [online]. 2019 [cit. 22.03.2020]. Dostupné z URL: <https://www.spsstavcb.cz/download2/3382_3738_cs_fot4_18_lss.pdf>
- [23] NĚMEČEK, Radomír a Tomáš ČERMÁK, BIM a facility management. [online]. 29.6.2016 [cit. 22.03.2020]. Dostupné z URL: <<https://docplayer.cz/18763775-Bim-a-facility-management.html>>
- [24] NOVOTNÁ, Helena: Základy BIM II – Revit Architecture pokročilé kapitoly, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2015

- [25] NOVOTNÁ, Helena: Základy BIM II – Revit Architecture pokročilé kapitoly, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2015
- [26] PAVLÍČKOVÁ, Věra. Vypracování metodik pro tvorbu informačního modelu budovy. Brno, 2014. 54 s., 20 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.
- [27] PHAM, Quynh. Case study for bim application into vinata tower. [online]. [cit. 06.03.2020]. Dostupné z URL: <<https://vibim.com.vn/blog/case-study-for-bim-application-into-vinata-tower.html>>
- [28] QUIRK, Vanessa. A Brief History of BIM. In: ArchDaily [online]. 07.12.2012 [cit. 22.03.2020]. Dostupné z URL: <<https://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim/>> ISSN 0719-8884
- [29] RIGBY, Sara. Notre-Dame: How faithfully can we rebuild the cathedral with modern tech? In: Science focus [online]. 23.04.2019 [cit. 06.03.2020]. Dostupné z URL: <<https://www.sciencefocus.com/future-technology/notre-dame-how-faithfully-can-we-rebuild-the-cathedral-with-modern-tech/>>
- [30] ŘÍHA, Jan. Terestrické 3D skenování. [online]. 2013 [cit. 06.03.2020]. Dostupné z URL: <<http://spszem.cz/storage/files/67/3D-skenovani-2013.pdf>>
- [31] SANDRON, D. a Andrew TALLON. Notre-Dame de Paris neuf siècles d'histoire. Vyd. 1. Paříž: Parigramme, 2013. ISBN-13-978-2840967682
- [32] SANCHEZ, A. X., HAPSON, K. D. a VAUX, S. Delivering Value with BIM. Abingdon: Routledge, 2016. 978-1-138-1899-7.
- [33] SHAN, Jie a Charles K. TOTH. Topographic laser ranging and scanning: principles and processing. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis Group, ©2009, xvii, 590 p., [8] p. of plates. ISBN 1420051423
- [34] SIOBHAN, Doyle. 3D laser scans could be key in rebuilding Notre Dame. In: The Institution of Engineering and Technology [online]. 17.04.2019 [cit. 06.03.2020]. Dostupné z URL: <<https://eandt.theiet.org/content/articles/2019/04/3d-laser-scans-could-be-key-in-rebuilding-notre-dame/>>
- [35] SIROTEK, Jan. Využití technologie 3D laserového skenování v silničním stavitelství. [online]. [cit. 06.03.2020]. Dostupné z URL: <<https://docplayer.cz/4083438-3d-laserove-skenovani-silnicni-stavitelstvi-aplikace.html>>
- [36] Skanska Property Romania SRL. Green Court Bucharest. [online]. [cit. 06.03.2020]. Dostupné z URL: <<https://www.skanska.ro/what-we-do/projects/57821/Green-Court-Bucharest/>>

- [37] SLÁDKOVÁ, Veronika. Vypracování metodik pro tvorbu informačního modelu budovy. Brno, 2014. 56 s., 21 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.
- [38] ŠMIRAUS, Michal. Prostorový laserový skener místa činu, jeho možnosti a porovnání s klasickými metodami kriminalistiky. Zlín 2010. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Ústav elektroniky a měření. 77 s. Dostupné z URL: <<http://hdl.handle.net/10563/11940/>>. Vedoucí práce Ing. Rudolf Drga.
- [39] TOLMAN, F., a G. van Nederveen, Modelling multiple views on buildings, vyd.3, pp. 215-224, 12 1992.
- [40] ÚRS. BIM v zahraničí a v ČR. In: ÚRS PRAHA, a.s [online]. [cit: 22.03.2020]. Dostupné z URL: <<http://urscinnosti.knowdigital.cz/zakladni-cinnosti-spolecnosti/bim-informacni-modelovani-staveb/bim-v-zahranici-a-v-cr>>
- [41] VANĚK, Petr. Informační model budovy. [online]. 21.06.2012 [cit: 22.03.2020]. Dostupné z URL: <https://issuu.com/czbim/docs/era21-2012-6_72-74>
- [42] VARS Brno. Diagnostika vozovek. [online]. [cit: 22.03.2020]. Dostupné z URL: <<http://www.vars.cz/diagnostika-vozovek>>
- [43] VÚGTK. Metodika prostorového určení interiéru a exteriéru budov. Zeměměřič. Praha: Springwinter,s.r.o., 2019, 26.ročník,1, 72-81, ISSN 1211-488X.
- [44] VÚGTK, Terminologický slovník zeměměřičtví a katastru nemovitostí. [online]. [cit:23.05.2020] Dostupné z URL: <[https://www.vugtk.cz/slovník/termin.php?jazykova_verze=&tid=7524&l=informacni-modelovani-staveb-\(bim\)](https://www.vugtk.cz/slovník/termin.php?jazykova_verze=&tid=7524&l=informacni-modelovani-staveb-(bim))>
- [45] ZHANG, Ke-fei a Ben-lin XIAO. 2002. GPS and Mobile Multisensor Mapping Systems. Wuhan University Journal of Natural Sciences, 2003, roč. 8, č. 2B.

12 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

BIM	Informační modelování budov (<i>Building Information Modeling</i>)
Bpv	Balt po vyrovnání
ČAS	Česká agentura pro standardizaci
CDE	Společné datové uložště (<i>Common Data Environment</i>)
GNSS	Globální navigační satelitní systém (<i>Global Navigation Satellite System</i>)
LoD	Úroveň rozvoje (<i>Level of development</i>)
LOD	Úroveň detailu (<i>Level of detail</i>)
LOI	Úroveň informace (<i>Level of information</i>)
MMS	Mobilní Mapovací Systém (<i>Mobile Mapping System</i>)
S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
UAS	Bezpilotní letecké systémy (<i>Unmanned Aircraft Systems</i>)

13 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek č.1 MacLeamyho diagram efektivity návrhu s využitím metody BIM [9]	15
Obrázek č.2 Ukázka prvků s rozdílnou úrovní LOD - UK číslování úrovní	19
Obrázek č.3 Ukázka použitých rodin dostupných z webových portálů	20
Obrázek č.4 Příklad třídění konstrukcí stěn systémem CoClass [16]	24
Obrázek č.5 Ukázka projektu mezinárodního letiště v Abu Dhabi [6]	28
Obrázek č.6 Ukázka modelu závodu na výrobu pevných a kapalných lékových forem [5] ...	29
Obrázek č.7 Typy pozemních skenerů podle zaznamenávaného prostoru: a) panoramatické b) hybridní a c) kamerové. [30]	33
Obrázek č.8 Pohled na mračno a 3D model Andrewa Tallona katedrály Notre-Dame odpovídající jeho stavu v r.1860. [29].....	34
Obrázek č.9 Model zubní náhrady [20]	35
Obrázek č.10 Mračno bodů automobilu pro vyhodnocení jeho škod [12]	35
Obrázek č.11 Pohled na modelovaný rodinný dům (Google Street View)	37
Obrázek č.12 Pozemní skener FARO Focus 3D (Foto: Autor práce)	38
Obrázek č.13 Aparatura GNSS- Trimble TR5 (Foto: Autor práce)	39
Obrázek č.14 Totální stanice Trimble M3 (Autor práce)	40
Obrázek č.15 Body okolní měřické sítě	42
Obrázek č.16 Použité sféry, štítky, plochy (Autor práce)	43
Obrázek č.17 Ukázka manuální registrace sféry na dvou různých skenech (Autor práce)....	44
Obrázek č.18 Ukázka barevně odlišených naorientovaných skenů interiéru 2.NP rodinného domu	45
Obrázek č.19 Ukázka obarveného mračna rodinného domu.....	46
Obrázek č.20 Nastavení výšek podlaží pomocí konstrukční výšky místnosti	47
Obrázek č.21 Ukázka mračna bodů s modelovanými stěnami	47
Obrázek č.22 Vliv změny funkce vrstvy	49
Obrázek č.23 Ukázka z tvorby střechy a atiky domu podle zapůjčené dokumentace.....	50
Obrázek č.24 Ukázka tvorby schodiště v programu Revit	51
Obrázek č.25 Kalkulátor schodiště a úprava jednotlivých částí schodiště	51
Obrázek č.26 Vlastnosti typu komponent dveří a oken	52
Obrázek č.27 Tvorba rekuperační jednotky podle reálné předlohy (Autor práce)	54
Obrázek č.28 Ukázka zobrazení vytvořené komponenty v programu Revit	54
Obrázek č.29 Tvorba trubek a jejich vlastnosti	55
Obrázek č.30 Vytvořené trubky v garáži	55
Obrázek č.31 Základní bod projektu, bod zaměření a vnitřní počátek.....	56
Obrázek č.32 Ukázka zobrazení základního bodu v projektu	57
Obrázek č.33 Pohled na 3D model domu	57
Obrázek č.34 Ukázka srovnání mračna a modelu	58

14 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK A GRAFŮ

Tabulka č.1 Srovnání výhod a nevýhod aktuálně používaných řešení sdílení dat	21
Tabulka č.2 Přehled roků, od kterých vybrané státy oficiálně vyžadují BIM na veřejných zakázkách	26
Tabulka č.3 Technické parametry FARO Focus ^{3D}	39
Tabulka č.4 Parametry totální stanice Trimble [17].....	40
Tabulka č.5 Ukázka souřadnicových rozdílů bodů získaných z laserového skenování a terestrického měření	59

15 SEZNAM PŘÍLOH

Svázané

Příloha č.A1 Vizualizace rodinného domu

Příloha č.A2 Pohledy na model domu ze světových stran

Příloha č.A3 Pohledy na model v průběhu modelování

Elektronické

Příloha č.1 Přehledka_měřické_sítě.pdf

Příloha č.2 Mapa_okolí.pdf

Příloha č.3 Seznamy_souřadnic_bodů.pdf

Příloha č.4_a Ověření_rozměrů_modelu.pdf

Příloha č.4_b Ověření_přesnosti_mračna.pdf

Příloha č.5 Půdorys_1NP.pdf (+ tištěná forma)

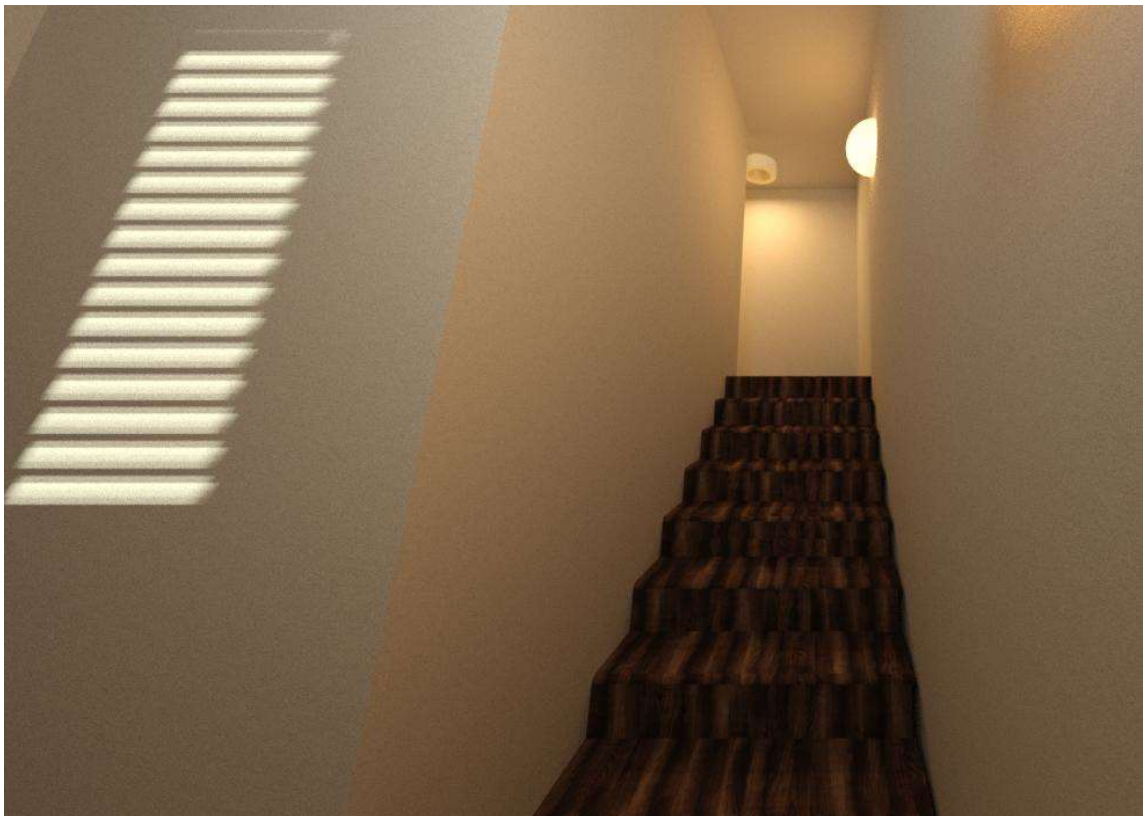
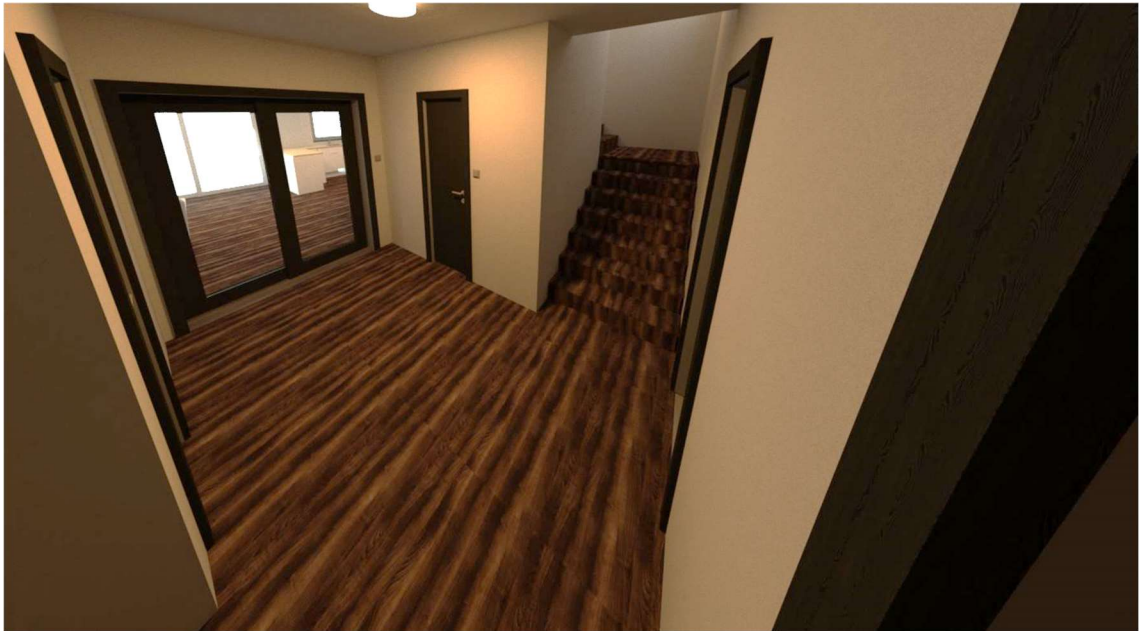
Příloha č.6 Půdorys_2NP.pdf (+ tištěná forma)

Příloha č.7 Řezy.pdf (+ tištěná forma)

Příloha č.A1 Vizualizace rodinného domu

Pohledy na interiér domu:

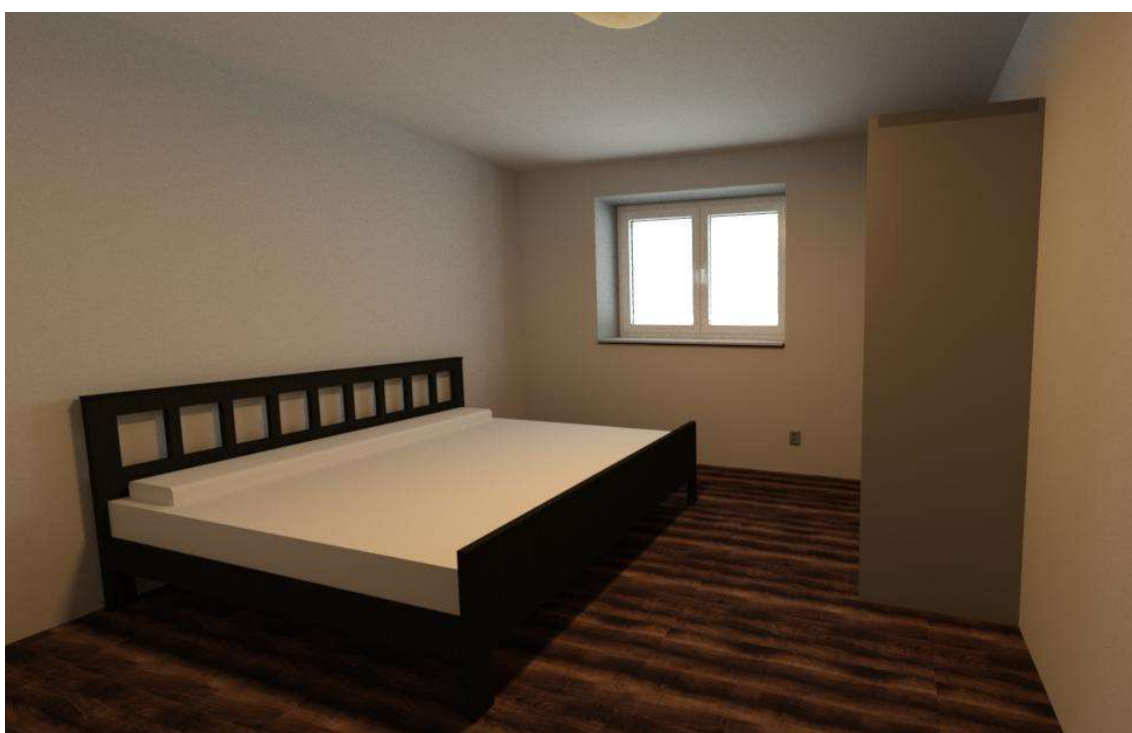
a) hlavní chodba, schodiště



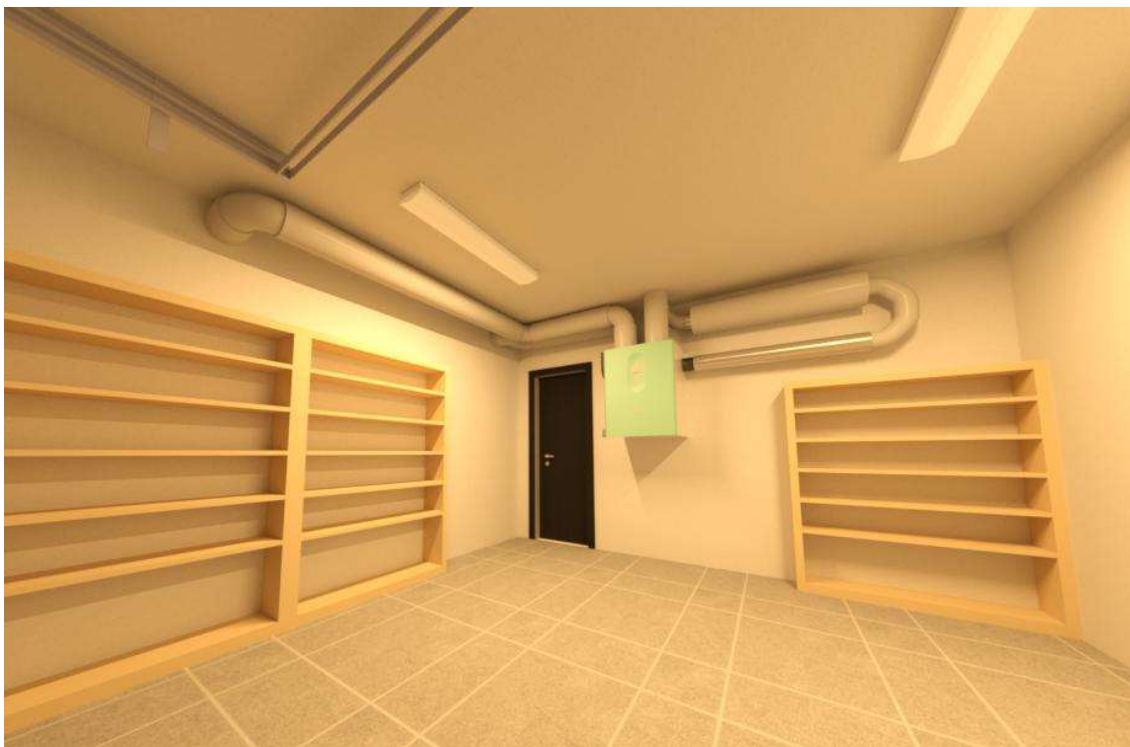
b) Kuchyň s obývacím pokojem



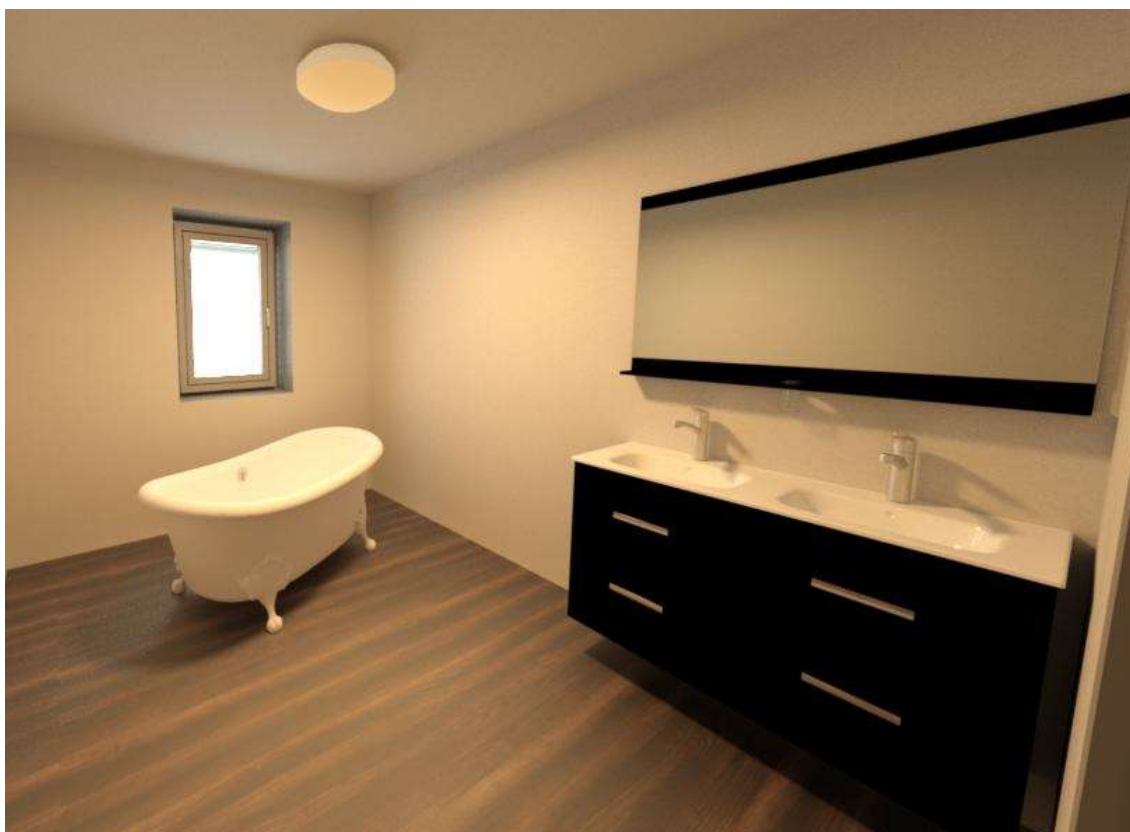
c) Ložnice



d) garáž



e) Koupelna

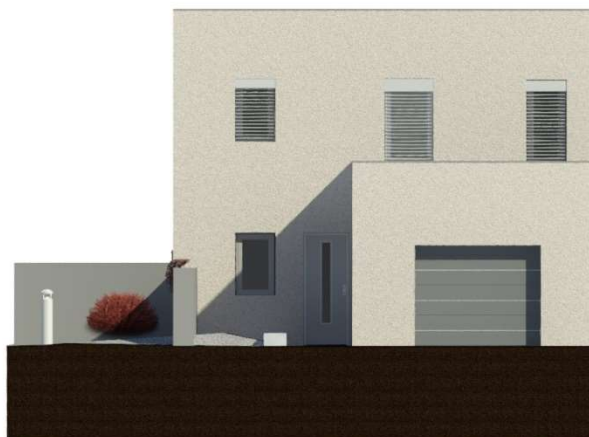


Pohledy na exteriér domu

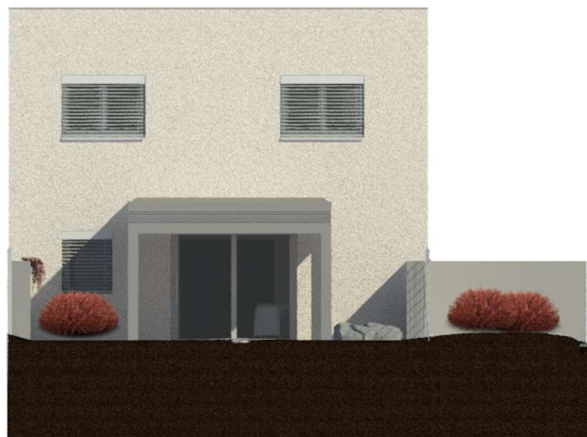


Příloha č.A2 Pohledy na model ze světových stran

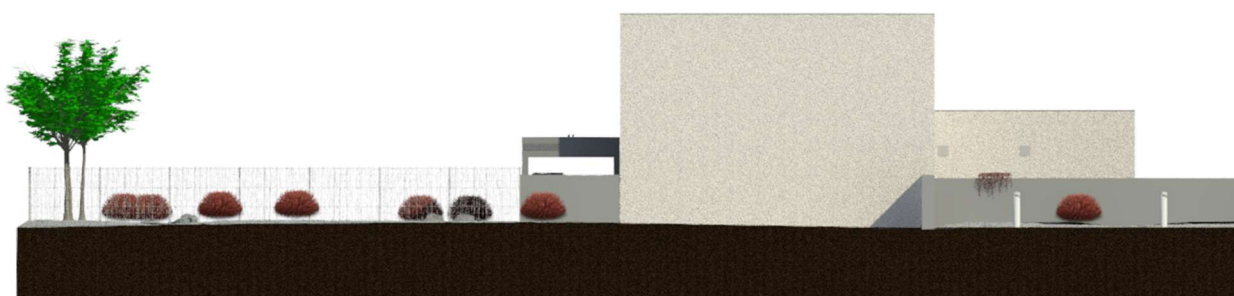
SV pohled



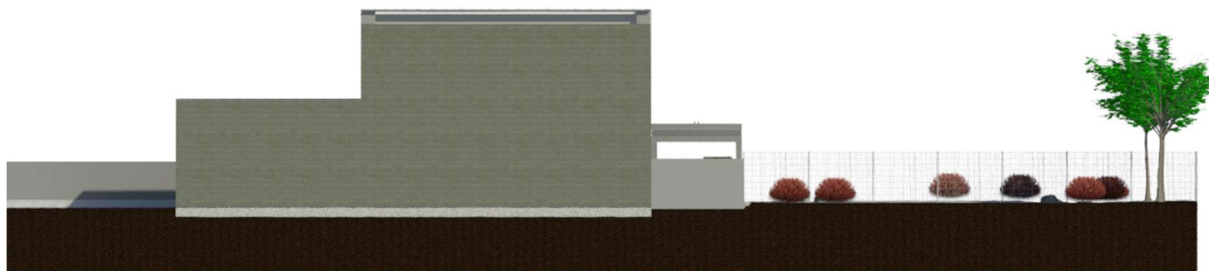
JZ pohled



JV pohled



SZ pohled



Příloha č.A3 Pohledy na model v průběhu modelování

